

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - YLEMPI AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

BTL-TIEDOSTOFORMAATIN HYÖDYNTÄMINEN TEOLLISEN PUURAKENTAMISEN NC-RAJAPINNASSA

Opinnäytetyö

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Rakentamisen tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Timo Pennanen	
Työn nimi Btl-tiedostoformaatin hyödyntäminen teollisen puurakentamisen NC-rajapinnassa	
Päiväys	28.4.2023
Sivumäärä/Liitteet	67/19
Toimeksiantaja Punkaharjun Puutaito Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämä opinnäytetyö on tehty Punkaharjun Puutaito Oy:n toimeksiannosta. Opinnäytetyö on tuotannon kehittämisprojekti, jonka tavoitteena oli saada vietyä BIM-tietomallin suunnittelutieto mahdollisimman automaattisesti CNC-koneistukseen. Tähän mennessä on liian usein jouduttu käyttämään sellaisia formaatteja, joilla työstö- ja tunnistetiedot eivät siirry vaivattomasti suunnittelusta valmistukseen. Opinnäytetyön alkuvaiheessa alkoi iso puurakentamisen projekti, jossa oli yli 1 800 erilaista komponenttia. Jotta tällaisen määrän valmistaminen tehokkaasti ja mahdollisimman virheettömästi on mahdollista, pitää suunnittelusta tulevan tiedon tulla valmistukseen sopivalla siirtotiedostoformaattilla. Siirtotiedostoformaatiksi valittiin BTL-formaatti, koska se on jo yleisesti käytössä ja Punkaharjun Puutaito Oy:n ohjelmisto ja konekanta tukevat formaattia.</p> <p>Kehittämisprojektin ensimmäisenä vaiheena päivitettiin käytössä oleva CAM-ohjelmisto, jonka jälkeen BTL-formaatin käsitteleminen oli mahdollista. Ohjelmistopäivityksen yhteydessä ohjelmistoon tuli lisäominaisuuksia, jolloin esimerkiksi automaattinen työstöoperaatioiden ohjelmointi oli mahdollista BTL-tiedostoon tallennettujen työstöominaisuuksien pohjalta. Lisäksi päivityksen jälkeen oli myös mahdollista suorittaa raaka-aineoptimointia, eli nestausta. Kun ohjelman päivitys saatiin tehtyä, suoritettiin ensiksi testejä, miten BTL-formaatti toimii. Tämän jälkeen tehtiin ohjelmaan konfiguraatio käytössä olevien työkalutietojen mukaan, jolloin automaattinen työstöratojen ohjelmointi saatiin toimimaan. Seuraavaksi suoritettiin ohjelmalla simulaatioita, jonka pohjalta tarkistettiin, että työstöoperaatiot ovat menneet oikein. Projektin toisena vaiheena otettiin BTL-formaatti tuotannolliseen käyttöön, jolloin varsinaisia komponentteja alettiin valmistamaan. Komponentteja valmistettaessa todettiin, että läpimenoajat lyhenivät huomattavasti ja virheitä ei enää esiintynyt työstöissä automaattisen ohjelmoinnin ansiosta.</p> <p>Tätä opinnäytetyötä tehtäessä, oli yllättävää, miten vähän suunnittelijoilla on tietämystä BTL-formaatin käytöstä ja ominaisuuksista. Lisäksi useilla CAD-ohjelmilla ei voitu tallentaa BTL-formaattia, tai tallennettu esimerkkiedosto ei jostakin syystä toiminut CAM-ohjelmassa. Jotta siirtotiedostoformaatti saadaan toimivaksi, tulee CAD-ohjelmistoilla olla tarjota toimiva BTL-tallennuslisäosa, jotta suunnittelutoimistot pystyvät sitä hyödyntämään. Lisäksi oppilaitoksissa pitää jatkossa olla valmiuksia pystyä kouluttamaan kyseisen formaatin käyttöä. Tulevaisuudessa tulisi olla yhteistyöverkosto oppilaitosten, suunnittelutoimistojen ja rakennusteollisuuden, jotta siirtotiedostoformaatin haasteet saadaan ratkaistua.</p>	
Avainsanat siirtotiedosto, tiedostoformaatti, BTL-formaatti, suunnittelu, valmistus	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Master's Degree Programme In Civil Engineering	
Author Timo Pennanen	
Title of Thesis Utilization of the Btl file format in the NC interface of industrial wood construction	
Date 28 April 2023	Pages/Appendices 67/19
Client Organisation Punkaharjun Puutaito Oy	
<p>Abstract</p> <p>This thesis was a production development project and it was commissioned by Punkaharjun Puutaito Oy. The aim of the project was to export the design data as automatically as possible to the CNC-machining center. Earlier, a wrong file format had been used, which caused missing data. At the beginning of this thesis, a large wooden construction project began, with more than 1800 different components. To produce such a quantity efficiently and with as few errors as possible, the data from the design must be exported in a suitable format for production. The BTL-format was chosen as the transfer file format because it is already in general use and the current software and hardware in Punkaharjun Puutaito Oy supported the BTL-format.</p> <p>The first stage of the development project was to update the current software. After the update it was possible to handle the BTL-format. The update also added additional features, so that the automatic machining operations is handled by the data from the BTL-format. In addition, the update included a nesting-feature that allows to optimize the raw material. After the software update, there were tests first to see how the BTL-format works. The next phase was to create a machine configuration, where all the tools were specified with individual features, so that the automatic programming would be enabled. After executing the automatic programming, the next phase was the simulation. The simulation was performed with the automatic program, on the basis of which it was checked that the machining operations have gone correctly. In the second stage of the development project the BTL-format was utilized in production. When the actual components started to be manufactured, it was noticed that the lead times were shortened considerably and there were no errors in the machining, because the machining operations were programmed automatically by the software.</p> <p>While doing this thesis, it was surprising how little knowledge designers have about the use and features of the BTL-format. In addition, many CAD programs could not export the BTL-format, or the exported BTL-file had errors, which could not be executed on the CAM software. To make the transfer file format work, CAD software must offer a workable BTL plugin, so that design offices can use it. In the future, educational institutions must be able to teach the use of the BTL-format. There should also be a cooperation network between educational institutions, design offices and manufacturers, so that the challenges of the transfer file can be solved.</p>	
<p>Keywords</p> <p>Transfer file, file format, BTL-format, design, manufacture</p>	

ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö tehtiin Punkaharjun Puutaito Oy:n toimeksiannosta syksyllä 2022 ja keväällä 2023. Haluan kiittää opintojeni ja opinnäytetyön ohjaamisesta Savonia-ammattikorkeakoulun yliopettajaa Arto Puurulaa ja lehtori Jussi Hämäläistä. Toimeksiantajani puolelta haluan kiittää koko henkilöstöä ja erityisesti työnantajaani, jotta sain suoritettua tämän projektin. Lisäksi haluan erityisesti kiittää vaimoani, perhettäni ja ystäviäni kaikesta kannustuksesta ja tuesta, mitä he ovat minulle antaneet opiskelujeni ja opinnäytetyön aikana.

Kerimäellä 20.4.2023



Timo Pennanen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	9
2	TEOLLISET PUUTUOTTEET RAKENTAMISESSA.....	10
2.1	Liimapuu	10
2.1.1	Liimapuun valmistus	10
2.1.2	Liimapuun käyttökohteet.....	11
2.2	CLT	11
2.2.1	CLT:n valmistus.....	12
2.2.2	CLT:n käyttökohteet	13
2.3	LVL	13
2.3.1	LVL:n valmistus	14
2.3.2	LVL:n käyttökohteet.....	15
3	CNC-OHJATUT TYÖSTÖKESKUKSET	16
3.1	CNC-koneen toimintaperiaate	16
3.2	Teollisessa puurakentamisessa käytettävät CNC-koneet.....	17
3.2.1	CNC-ohjattu palkkityöstökeskus	17
3.2.2	CNC-ohjattu monitoimisilta	18
3.2.3	CNC-ohjattu portaalityöstökeskus	19
4	SUUNNITTELUSSA JA TUOTANNOSSA KÄYTETTÄVÄT OHJELMISTOT.....	21
4.1	BIM-tietomallinnus	21
4.1.1	CAD-ohjelmistot	21
4.2	CAM-ohjelmistot	22
4.2.1	Ddx-Easywood	24
5	BTL- TIEDOSTOFORMAATTI.....	25
5.1	Btl-tiedostoformaatin periaate.....	25
5.1.1	Btl:n ominaisuudet.....	25
5.2	Btl-tiedostoformaatin käsitteleminen	27
6	RAAKA-AINEOPTIMOINTI ELI NESTAAMINEN	30
6.1	Nestauksen periaate.....	30
6.2	Raaka-aineoptimoinnin suorittaminen.....	30
7	KEHITTÄMISPROJEKTI PUNKAHARJUN PUUTAITO OY	33
7.1	Tavoite ja ongelma	33

7.2	Biesse Uniteam CNC-työstokeskuksen ominaisuudet.....	34
7.3	Ddx-ohjelman ominaisuudet	37
7.4	Btl-lisäosan asentaminen	38
7.4.1	Btl- ominaisuuksien koulutus	38
7.4.2	Btl -tiedoston työstöjen ohjelmointi ja simulointi Ddx-ohjelmalla	38
7.4.3	Btl-formaatin käyttöönotto tuotannossa	39
7.4.4	Btl:n vaikutukset ohjelmoinnissa ja tuotannossa	39
8	PUURAKENTEIDEN SUUNNITTELUSSA HUOMIOITAVIA ASIOITA	40
8.1	Siirtotiedoston vaatimukset.....	40
8.2	Btl-omaisuuksien tallentaminen.....	41
8.3	Suunnittelussa huomioitavia asioita valmistamisen näkökulmasta	42
8.3.1	Poraukset.....	43
8.3.2	Huullokset	43
8.3.3	Aukotukset.....	43
8.3.4	Sahaukset	43
8.3.5	Taskut ja erikoistyöt	43
8.4	Teollisten puutuotteiden dimensiot.....	43
9	POHDINTA.....	45
	LÄHTEET	47
	LIITE 1: HSD JYRSINMOOTTORIN VÄÄNTÖALUEKÄYRÄ KIERROSNOPEUDEN SUHTEEN	48
	LIITE 2: DDX EASYWOOD-OHJELMAN PÄÄTOIMINNOT	49
	LIITE 3: AUTOMAATTISEN OHJELMOINNIN JA SIMULAATION OHJE 1 (10)	50
	LIITE 4: AUTOMAATTISEN OHJELMOINNIN JA SIMULAATION OHJE 2 (10)	51
	LIITE 5: AUTOMAATTISEN OHJELMOINNIN JA SIMULAATION OHJE 3 (10)	52
	LIITE 6: AUTOMAATTISEN OHJELMOINNIN JA SIMULAATION OHJE 4 (10)	53
	LIITE 7: AUTOMAATTISEN OHJELMOINNIN JA SIMULAATION OHJE 5 (10)	54
	LIITE 8: AUTOMAATTISEN OHJELMOINNIN JA SIMULAATION OHJE 6 (10)	55
	LIITE 9: AUTOMAATTISEN OHJELMOINNIN JA SIMULAATION OHJE 7 (10)	56
	LIITE 10: AUTOMAATTISEN OHJELMOINNIN JA SIMULAATION OHJE 8 (10)	57
	LIITE 11: AUTOMAATTISEN OHJELMOINNIN JA SIMULAATION OHJE 9 (10)	58
	LIITE 12: AUTOMAATTISEN OHJELMOINNIN JA SIMULAATION OHJE 10 (10)	59
	LIITE 13: BIESSE UNITEAM TYÖSTÖPARAMETRIT SUUNNITTELUUN 1(7).....	60

LIITE 14: BIESSE UNITEAM TYÖSTÖPARAMETRIT SUUNNITTELUUN 2(7).....	61
LIITE 15: BIESSE UNITEAM TYÖSTÖPARAMETRIT SUUNNITTELUUN 3(7).....	62
LIITE 16: BIESSE UNITEAM TYÖSTÖPARAMETRIT SUUNNITTELUUN 4(7).....	63
LIITE 17: BIESSE UNITEAM TYÖSTÖPARAMETRIT SUUNNITTELUUN 5(7).....	64
LIITE 18: BIESSE UNITEAM TYÖSTÖPARAMETRIT SUUNNITTELUUN 6(7).....	65
LIITE 19: BIESSE UNITEAM TYÖSTÖPARAMETRIT SUUNNITTELUUN 7(7).....	66

KUVALUETTELO

KUVA 1. Liimapuun valmistus (temp.svensktlimtra.se)	11
KUVA 2. CLT-levyn tuotantolinja (kallesoemachinery.com)	12
KUVA 3. CLT-ulkoseinä ja yläpohjat asennettuna (Pennanen 2020)	13
KUVA 4. Sorvatusista viilusta LVL-tuotteeksi (LVL Handbook Europe).....	15
KUVA 5. LVL-tuotantoprosessi (LVL Handbook Europe).....	15
KUVA 6. Numeerisen ohjauksen kaaviokuva (Pennanen 2023)	16
KUVA 7. Biesse Uniteam CK palkkityöstökeskus (wtp.hoehmann.com)	18
KUVA 8. Weinmann Wallteq M-300 monitoisilta (www.projecta.fi)	19
KUVA 9. Työkaluja rivimakasiinissa (Biesse Group 2018).....	20
KUVA 10. 2D kuva lvi-palkista (Pennanen 2023).....	22
KUVA 11. 3D kuva liimapuupalkista (Pennanen 2023).....	23
KUVA 12. Koneistussimulaatio (Pennanen 2023)	24
KUVA 13. Kappaleen koordinaatisto(www.tekla.com).....	26
KUVA 14. Referenssisivujen paikalliset koordinaatistot(www.tekla.com).....	27
KUVA 15. Näkymä btl- katseluohjelmasta(design2machine)	27
KUVA 16. Näkymä Ddx- ohjelmasta, jossa sama tiedosto avattuna (Pennanen 2023)	28
KUVA 17. Yhden komponentin Birds Mouth-työstö (Pennanen 2023)	28
KUVA 18. Sijoitettuja kappaleita aghiolla (Pennanen 2023 Sijoitettuja kappaleita aghiolla)	30
KUVA 19. Omakotitalon yläkerran CLT-elementit (desing2machine 2023)	31
KUVA 20. Seinäelementit sijoitettuna aghiolaatoille (design2machine 2023)	31
KUVA 21. Nestauksen excel-taulukko (Pennanen 2023)	32
KUVA 22. CNC-työstökeskus koneistamassa lvi-aihiota (Pennanen 2023)	34
KUVA 23. Työstökeskuksen pöytäalueet (Pennanen 2023)	35

KUVA 24. CNC-koneen akselit (Pennanen 2023)	35
KUVA 25. Osai Process Controller käyttöliittymä (Pennanen 2023).....	36
KUVA 26. Beam Production ohjelma (Pennanen 2023).....	37

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Punkaharjun Puutaito Oy. Yritys on perustettu vuonna 1989 ja tänä päivänä se työllistää noin 40 henkilöä. Punkaharjun Puutaito Oy:n tuotteita ovat muun muassa rullanpäätulpat ja erikoismittaiset kuormalavat, jotka valmistetaan pitkälle automatisoiduilla tuotantolinjoilla. Yrityksellä on myös kolme CNC-koneistuskeskusta, joilla jatkojalostetaan koivuvanereria, LVL-, CLT, ja liimapuumateriaaleja eri käyttötarkoituksiin. Lisäksi yrityksellä on jatkoslinja, jolla voidaan valmistaa koivuvanerista niin sanottuja suurlevyjä mm. kuljetusvälineiteollisuuteen. Teollisia puurakentamisen elementtejä valmistetaan CNC-tekniikka hyödyntäen aina projektikohtaisesti.

Tämä opinnäytetyö on tuotannon kehittämisprojekti, jonka tavoitteena oli löytää ja testata toimivaa siirtotiedostoformaattia, jotta suunnitteluorganisaatiolta saataisiin valmistustiedot mahdollisimman automaattisesti komponenttien valmistukseen. Siirtotiedostoformaattiksi valikoitui btl-formaatti, koska se on Euroopassa laajalti käytössä ja se on ilmainen standardi, jota voidaan hyödyntää useissa eri CAD- ja CAM-ohjelmissa, sekä CNC-koneistuskeskuksissa. Marraskuussa 2022 investoitiin käytössä olevaan CAM-ohjelmaan päivitys, jolla voitiin käsitellä btl-formaattia ja suorittaa automaattista ohjelmointia btl-tietojen perusteella. Lisäksi päivityksen mukana tuli nestautoiminto, jolla voidaan suorittaa raaka-aineoptimointia. Päivityksen jälkeen tehtiin testejä ja simulaatioita, joiden avulla saatiin konfiguraatioasetukset toimiviksi CAM-ohjelmassa, jolloin automaattinen ohjelmointiominaisuus saatiin käyttöön.

Opinnäytetyön aikana testattiin Suomessa yleisesti käytössä olevien CAD-ohjelmien ominaisuuksia tallentaa btl-formaattia. Osalla ohjelmista oli vielä btl-formaatin tallennusominaisuus kehitysasteella, mutta kehitystyö kyseisillä ohjelmistotaloilla on parasta aikaa käynnissä. Joillakin ohjelmistoilla oli btl-tallennusominaisuus valmiina, mutta ne oli kehitetty pääasiassa rankarunkoisten seinäelementtien valmistusta ajatellen, jonka vuoksi esimerkiksi CLT-elementtien valmistukseen btl-ominaisuutta ei voitu hyödyntää. Opinnäytetyötä tehtäessä selvisi, että suunnittelutoimistoilla on tänä päivänä erittäin vähän kokemusta btl-formaatista, eikä kyseistä lisäohjelmaa ole investoitu ohjelmistolisensseihin.

Kehittämisprojektilla oli merkittävä vaikutus CNC-koneistuskeskuksen tehokkuuden kasvuun. Lisäksi inhimillisten virheiden määrä poistui lähes kokonaan, jolla oli selkeä vaikutus tuotantotehokkuuteen, projektiaikatauluun ja raaka-aineen tehokkaaseen käyttöön. Myös suunnitelmien muutosten tiedot saadaan tehokkaasti siirrettyä btl-formaatin kautta valmistukseen.

2 TEOLLISET PUUTUOTTEET RAKENTAMISESSA

2.1 Liimapuu

Liimapuun valmistus Suomessa alkoi 1945. Ensimmäiset liimapuuosat valmisti Laivateollisuus Oy, joista tehtiin osat laivan runkoon. Tuolloin kyseiset laivat toimitettiin Neuvostoliittoon sotakorvauksena. Kun viimeiset liimapuurakenteiset laivat alkoivat olla toimitettu Neuvostoliittoon, aloitettiin liimapuuta käyttämään rakennusteollisuudessa vuodesta 1958 lähtien. Tällä hetkellä Suomessa tuotetaan liimapuuta noin 300 000 m³ vuodessa. Tästä noin 50 000 m³ käytetään kotimaassa. Liimapuun valmistajia on Suomessa noin kymmenkunta, jotka ovat organisoituneet Suomen Liimapuuyhdistykseksi.

Liimapuu on suunniteltu käytettäväksi ensisijaisesti kantaviin rakenteisiin, mutta sitä voi myös hyödyntää ei kantavissa rakenteissa, kuten huonekaluissa ja sisustuksessa. Lujuudeltaan liimapuu on yksi lujimpia rakennusaineta painoonsa nähden. Sitä käytetään paljon halli- ja julkisissa rakennuksissa, kuten esimerkiksi jäähalleissa, katsomoissa, kirjastoissa, päiväkodeissa ja kauppakeskuksissa. Lisäksi liimapuuta käytetään siltarakenteissa.

Valmistuksessa saa käyttää vain sellaisia liimoja, jotka täyttävät standardin EN 14080 ja viitestandardin EN 301 vaatimukset. Näissä standardeissa on määritelty kaksi liimatyyppiä, liimatyyppi I ja liimatyyppi II. Lisäksi voidaan käyttää yksikomponenttista liimaa, joka täyttää EN 15425 standardin. Liimatyyppi I mukaista liimaa voidaan käyttää kaikissa käyttöluokissa ja liimatyyppi II mukaista liimaa säältä suojatuissa olosuhteissa.

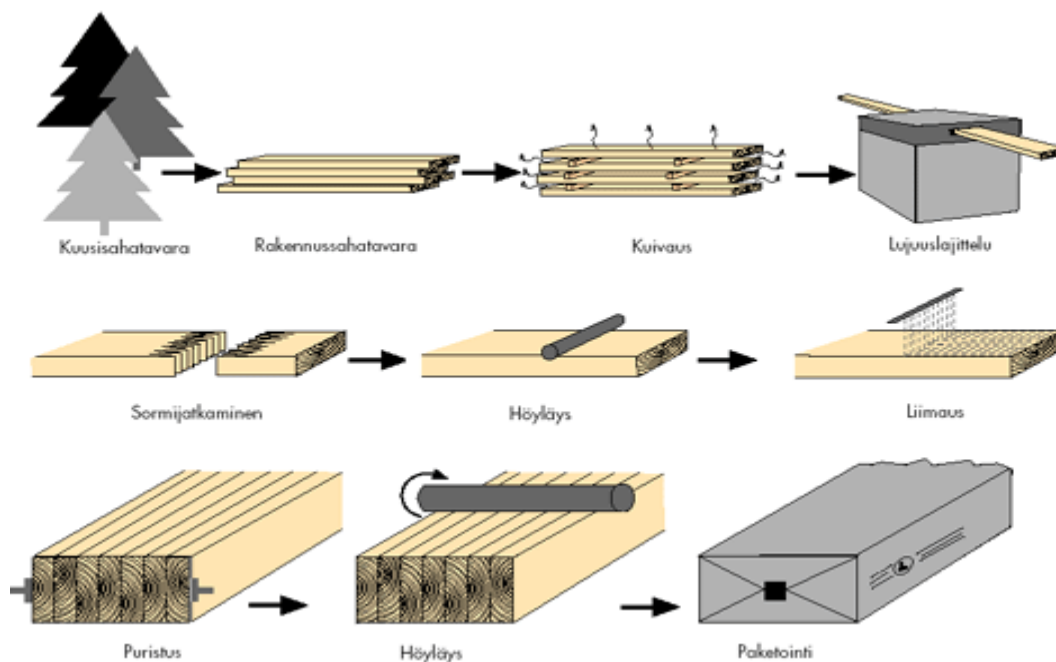
Liimapuun raaka-aineena käytetään Pohjoismaissa pääasiassa kuusta. Mäntyä ja joskus lehtikuusta käytetään liimapuun raaka-aineena. Mäntyä käytetään siinä tapauksessa, jos liimapuun pitää olla painekyllästettyä (Liimapuukäsikirja, 2014). Liimapuuta Suomessa valmistavat muun muassa Versowood Oy, Pölkky Oy, Kestopalkki LPJ Oy, Laterakenteet Oy ja Kohiwood Oy Ltd (Liimapuuyhdistys, 2018).

2.1.1 Liimapuun valmistus

Liimapuussa käytetään aina lujuuslajiteltua sahatavaraa. Sahatavara nippu nostetaan sormijatkosilijan syöttölaitteeseen, josta lauta menee yksitellen sormijatkettavaksi. Sormijatkamisen jälkeen, lauta katkaistaan haluttuun ahiopituuteen. Seuraavaksi lauta menee höyläykseen, jossa määritetään haluttu liimausdimensio laudalle ja luodaan riittävä pintalaatu liimaukselle. Höylätyt laudat syötetään liimauslevittimen läpi, jolloin liima levittyy aina laudan toiselle lapepinnalle. Tämän jälkeen laudat asetellaan puristimeen päällekkäin niin, että lapepinnat ovat vastakkain. Kun laudat ovat aseteltu puristimeen, puristimen hydraulisylinterit painavat laudat toisiaan vasten kiinni. Puristusaika riippuu tuotannossa käytettävästä liimatyyppistä.

Puristimesta nostettu liimapuupalkkiaihiio nostetaan höylälinjalle, jossa palkin paksuus saadaan haluttuun dimensioon. Höyläyksen jälkeen palkki sahataan määrämittaa. Joissakin tapauksissa, palkki menee höyläyksen jälkeen CNC-työstökeskukseen, missä palkki sahataan haluttuun pituusmittaan ja tehdään mahdollisia lovia, aukkoja tai porauksia.

Viimeisenä vaiheena on valmiin tuotteen laadun varmistus ja paketointi. Paketointimateriaalina sää-
kestävää muovia. Yhdessä paketissa voi olla useampi palkki tai pelkästään yksi palkki, riippuen pal-
kin dimensiosta ja painosta (Liimapuukäsikirja, 2014).



KUVA 1. Liimapuun valmistus (temp.svensklimtra.se)

2.1.2 Liimapuun käyttökohteet

Liimapuuta käytetään halli- ja julkisissa rakennuksissa sekä siltarakenteissa. Esimerkiksi liikuntahal-
lien ja kauppakeskusten runko-osat valmistetaan liimapuusta. Hallirakentamisessa liimapuuta käyte-
tään pilareissa ja niiden varassa olevissa palkeissa. Palkit voivat olla tyypiltään suorapalkki, harja-
palkki tai kaareva palkki. Jännevälit ovat hallirakenteissa tyypillisesti 10–30 metriä. Kolminivelkehällä
tai vetotangollisella kattotuolilla voidaan päästä vielä pitempiin jänneväleihin. Siltarakentamisessa
käytetään liimapuusta valmistettuja ristikkosilloja, joiden jänneväli on 25–40 metriä. Tällainen silta
on tyypillisesti suunniteltu kevyelle liikenteelle. Ajoneuvoliikenteelle tarkoitetut sillat ovat joko kaari-
silloja tai vinoköysisilloja (Liimapuukäsikirja, 2014).

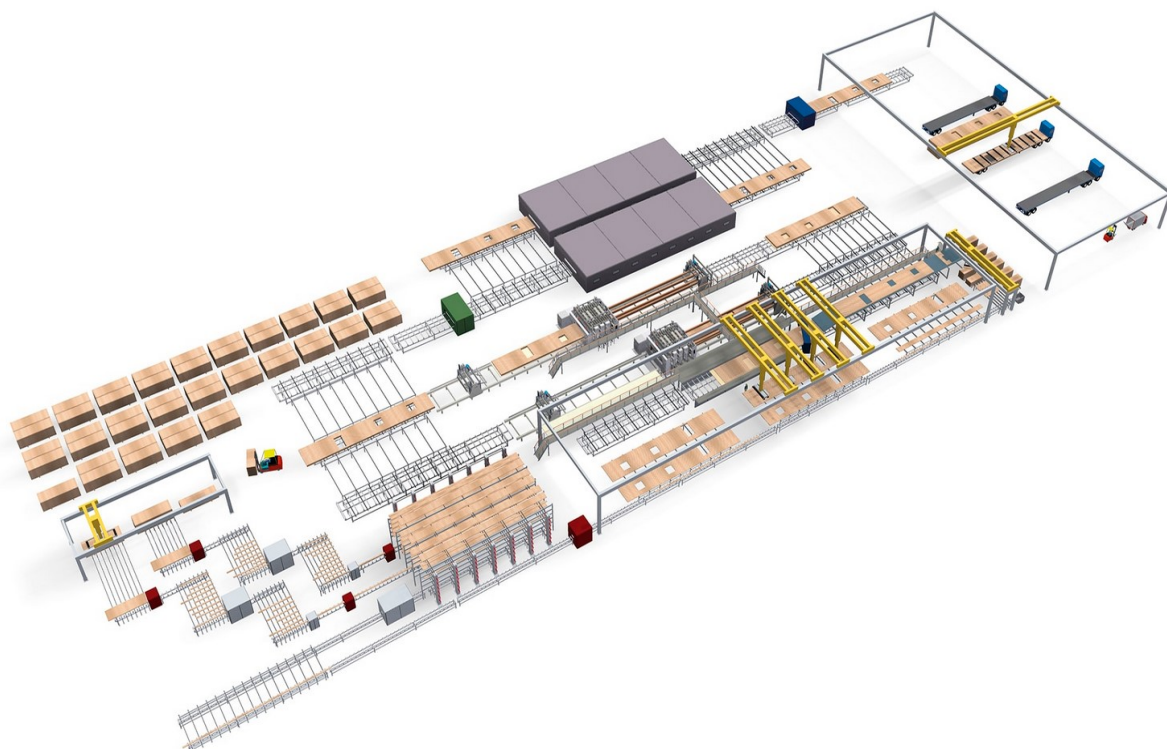
2.2 CLT

Tuote CLT muodostuu nimestä Cross Laminated Timber, ristiin liimatut lautakerrokset. Ristiin liimat-
tujen kerroksien määrä on yleensä 3, 5 tai 7. Joissakin tapauksissa niitä voi olla useampia. Suomessa CLT-
levyn paksuudet vaihtelevat 60–300 mm, leveydet 2500–3200 mm ja pituus on enintään 12000 mm.
Ristiin liimattu rakenne erottaa CLT:n liimapuusta siten, että kaikki lamellikerrokset ovat liimapuussa
saman suuntaiset. Raaka-aineena käytetään yleisemmin kuusta tai mäntyä. Muitakin puulajeja voi-
daan käyttää, esimerkiksi koivua, jos halutaan näkyvään pintaan eri puulajeja. Ominaisuuksiltaan CLT
on luja ja jäykkä rakennuslevy, jolla on myös hyvä palonkesto. Suomessa CLT:tä tuotetaan yhteensä
noin 35 000 m³ ja lisäksi Suomeen myös tuodaan muun muassa Itävallasta (Puuinfo Oy, 2020).

2.2.1 CLT:n valmistus

Raaka-aineena käytetään lujuslajiteltua kuusi- tai mäntysahatavaraa. Ensimmäisenä työvaiheena on lautojen sormijatkaminen ja pituussahaus. Tämän jälkeen laudat höylätään haluttuun dimensioon. Liimausvaiheessa laudat asetellaan rinnakkain liimauslinjalle, jonka jälkeen liima levitetään lapinpintaan. Seuraavaksi nostetaan toinen lamellikerros liimaukseen, joka on nyt 90 astetta edelliseen nähden. Lamellikerroksia on vähintään kolme kappaletta. Kun haluttu kerrosrakenne on saatu liimatua, viedään aihio puristimeen. Puristustapoja on useita, joista yleisemmin käytetty tapa etenkin Keski-Euroopassa on vakuumpuristus tyhjiön avulla. Puristus voidaan myös suorittaa käyttämällä prässää tai käyttää suurtaajuuspuristinta. Yleensä vakuumpuristimella ja prässien avulla tehdyissä puristuksissa käytetään yksikomponenttista polyuretaaniliima, eli PUR-liimaa. Suurtaajuuspuristimessa käytetään kaksikomponenttista melamiiniformaldehydiä, eli MUF-liimaa.

Liimauksen jälkeen aihio siirretään kuljettimia pitkin hiontaan, mikäli pintalamelli on näkyviin jäävä. Jos ei ole pintalaatuvaatimuksia, niin aihio siirretään suoraa CNC-koneistukseen, jossa CLT-laatta sahataan haluttuun mittaan ja koneistetaan esimerkiksi aukot, huulokset ja poraukset. CNC-työstökeskus koneistaa levyn elementtisuunnitelman mukaan. Koneistuksen jälkeen CLT-levy merkitään tunnuksella, joka on määritetty elementtisuunnitelmaan (Puinfo Oy, 2020). CLT-elementtien valmistajia Suomessa ovat Oy CrossLam Kuhmo Oy Ltd, Hoisko CLT ja CLT Plant Oy.



KUVA 2. CLT-levyn tuotantolinja (kallesoemachinery.com)

2.2.2 CLT:n käyttökohteet

Suomessa CLT-elementtejä käytetään pientalo- ja julkisrakentamisessa. Viime vuosina on rakennettu useita kouluja ja päiväkoteja.

CLT-elementtejä käytetään kantavina ja jäykistävinä rakenteina. Elementtejä käytetään alapohjissa, jossa näkyviin jäävä pintalamelli hiotaan tehtaalla valmiiksi. Kantavissa ulkoseinärakenteissa voidaan käyttää CLT:tä, joissa levyt eristetään ulkopuolelta. Sisäpuolelle näkyviin jäävä pinta on hiottu. Tämä on yksi CLT:n ominaisuuksista, joissa se toimii samaan aikaan kantavana rakenteena ja on samalla valmis sisäseinä. Elementtejä voidaan käyttää rakennuksen välipohjana sellaisenaan, tai kantavien puupalkkien kanssa. Lisäksi CLT-levyä voidaan käyttää betonin kanssa liittorakenteena, jolloin säävytetään riittävä äänieristävyys ja kantavuus. Yläpohjarakenteet voidaan toteuttaa elementeistä, niin että sisäpinta elementistä jää näkyviin.



KUVA 3. CLT-ulkoseinä ja yläpohjat asennettuna (Pennanen 2020)

2.3 LVL

LVL on lyhenne englannin kielen sanoista laminated veneer lumber, eli laminoitua viilupuuta. Raaka-aineena käytetään pääsääntöisesti kuusta. Ensimmäisenä LVL-tuotteita on alettu valmistamaan Pohjois-Amerikassa. Suomessa LVL-tuotteita valmistavat Metsäwood ja Stora Enso. Metsäwood kuuluu Metsäliittosuuskuntaan ja LVL-tuotteen tuotemerkki on Kerto-puu. Kerto-puu tuoteryhmään kuuluvat Kerto-S, Kerto-T, Kerto-Q, Kerto-L ja Kerto GLVL. Kerto-tuotteita valmistetaan Punkaharjulla ja Lohjalla, yhteensä viidellä tuotantolinjalla. Kerto-puun tuotanto on aloitettu Lohjalla vuonna 1986. Stora

Enson tuotantolinja on Varkaudessa ja se on otettu käyttöön vuonna 2015. Stora Enso tuoteryhmään kuuluvat LVL S, LVL X, LVL T, LVL GS ja LVL GX (LVL Handbook, 2020).

Tuotepaksuudet vaihtelevat 21–75 millimetrin välillä. Vakiotuotteiden pituus voi maksimissaan olla 24 metriä. Leveysmitat voivat maksimissaan olla 1800–2500 mm. Jos halutaan yli 75 mm paksua tuotetta, niin silloin se täytyy kerrannaisliimata ohuemmista tuotepaksuuksista. Esimerkiksi 90 mm paksu tuote liimataan kahdesta 45 mm paksusta ahiosta. Kerrannaisliimatuilla tuotteilla pituus on 18–20 metriä ja paksuudet ovat 84–350 mm.

2.3.1 LVL:n valmistus

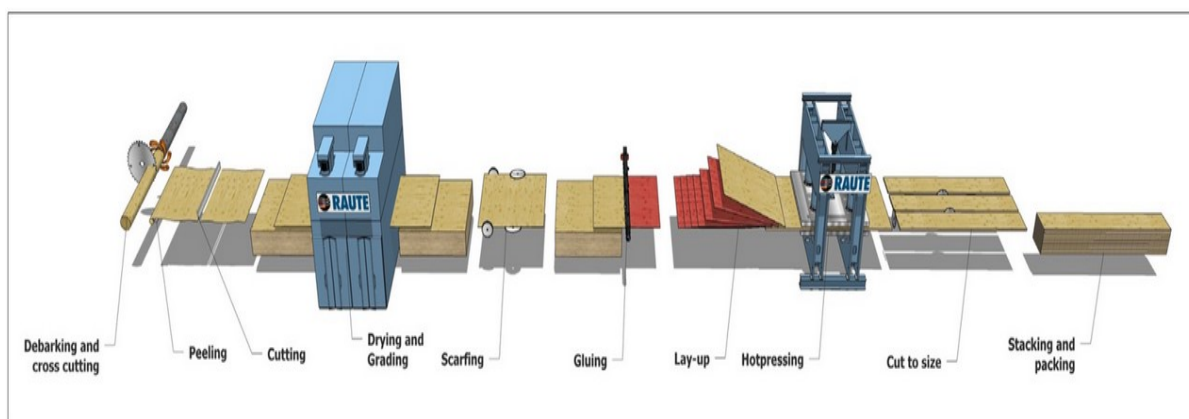
LVL:n ensimmäinen vaihe on tukin kuorinta, josta tukki siirtyy hautomoon. Haudonnassa sorvaukseen menevät tukit pyritään saamaan sellaiseen kosteustasoon ja lämpötilaan, jolloin sorvaaminen on mahdollista. Riittävä haudonta varmistaa puuaineksen elastisuuden, jolloin sorvaaminen on mahdollista. Hautomoaltaasta nostetut tukit menevät kuljetinta pitkin sorvaukseen, jossa tukki sorvataan 3–3,4 millimetriä paksuksi viilumatoksi. Nykyisillä sorveilla saadaan yksi tukki sorvattua noin viidessä sekunnissa yhtenäiseksi viilumatoksi. Tämän jälkeen yhtenäinen viilumatto leikataan arkeiksi ennen kuivausta ja lajitellaan omiin leveysmittoihin ja kosteusluokkiin. Viilujen kuivaus tapahtuu telakuivauskoneilla. Kuivatut viilut lajitellaan edelleen kuivauksen jälkeen laatuluokkiin. Laatuluokat määräytyvät viilujen tiheyden, kosteuden ja dimensioiden mukaan.

Ennen liimausta, jokaiseen viiluun sahataan sahausviiste. Tämän jälkeen viilut menevät yksitellen liimoitin laitteen läpi ladonta-asemalle. Ladonnassa viilut ladotaan jatkuvaksi toistensa päälle, niin että saavutetaan haluttu tuotepaksuus. Aihion leveys on 1820 mm tai 2500 mm leveä. Seuraavaksi ladottu aihio siirtyy esipuristimeen, jossa varmistetaan, että liiman tarttuvuus viilukerrostien välillä. Kun riittävä esipuristus aika on saavutettu, siirretään esipuristettu laatta kuumapuristimeen. Kuumapuristimessa lämmön ja paineen avulla saadaan liima reagoimaan lopulliseen lujuteen. Puristusajan tullessa täyteen, valmis laatta aihio siirtyy sahauslinjalle, jossa laatta sahataan asiakkaan tilaamiin dimensioiden. Mikäli tuotteella on visuaalisia laatuvaatimuksia, niin silloin laatta-aihio hiotaan ennen sahausta. Jatkojalostukseen, kuten esimerkiksi CNC-koneistukseen menevät ahiot pelkästään sahataan ahiomittaan.

Viimeisenä vaiheena on sahattujen tuotteiden pakkaus. Pakkaaminen tapahtuu automaattisesti, jossa nipun kääritään pakkausmuoviin. Aluspuiden kiinnittäminen paketteihin tapahtuu myös automaattisesti.



KUVA 4. Sorvatusta viilusta LVL-tuotteeksi (LVL Handbook Europe)



KUVA 5. LVL-tuotantoprosessi (LVL Handbook Europe)

2.3.2 LVL:n käyttökohteet

Kerto-S ja LVL-S tuotetta käytetään kantavissa rakenteissa, kuten esimerkiksi kantavina palkkeina, tolppina ja pilareina. Lisäksi S-laatuja käytetään ripapalkkeina väli- ja yläpohjajaelementeissä. Kerto-T tuotetta käytetään väliseinätolppina ja sekundääripalkkeina esimerkiksi lattiarakenteissa. Q- ja X-tuotteiden rakenne eroavat S- ja T-rakenteesta niin, että osa viilukerroksista ovat poikittain. Sitä käytetään lattioiden ja kattojen levytyksessä, sekä ripaelementtien kansilaattana. Poikittaisella viilukerroksella saadaan laattarakenteeseen parempi lommahdusjäykkyys. Paksut, vähintään yli 90 mm kerrannaisliimattuja tuotteita käytetään tyypillisesti järeissä pilari- ja palkkirakenteissa. Massiivisia LVL-rakenteita käytetään palonkestoa vaativissa rakenteissa (Metsägroup, 2017).

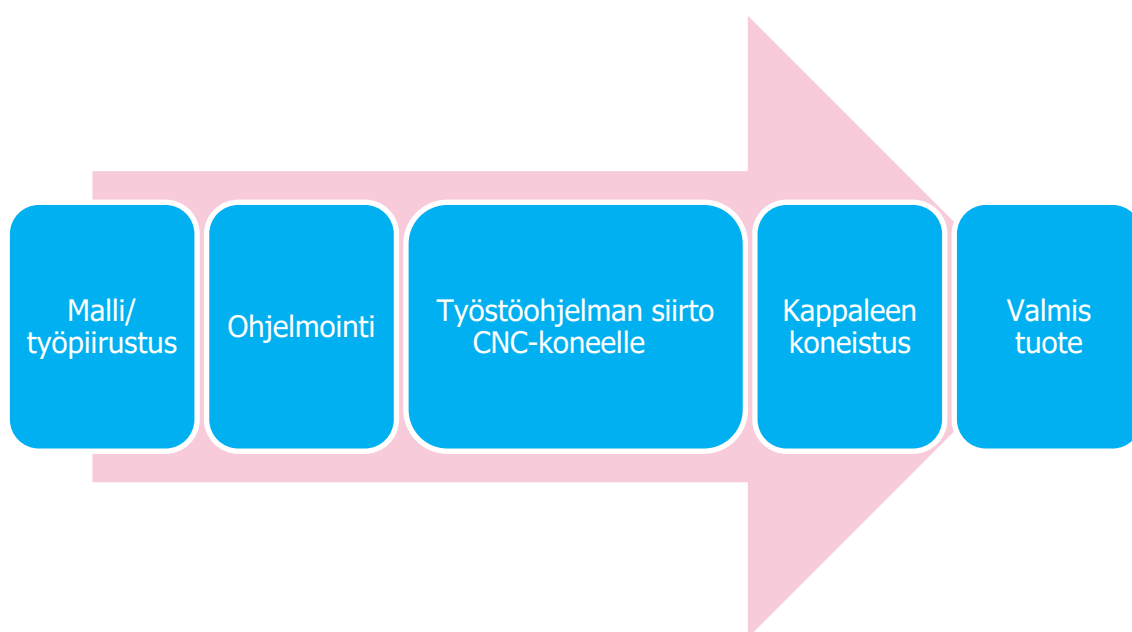
3 CNC-OHJATUT TYÖSTÖKESKUKSET

3.1 CNC-koneen toimintaperiaate

Numeerisesti ohjattuja NC-työstökeskuksia on ollut käytössä jo kymmeniä vuosia. Ensimmäiset työstökeskukset valmistettiin 1950-luvun alussa ja Suomessa niitä on ollut käytössä 1960-luvulta lähtien konepajateollisuudessa. Teollisessa valmistuksessa NC-työstökeskukset ovat tuoneet tuotantolinjoille joustavan automaation. Etenkin massatuotannossa saavutetaan suuria etuja NC-tekniikalla. Yrityksen kilpailukykyä voidaan parantaa joustavilla NC-työstökeskuksilla.

Ensimmäisten NC-koneiden ohjaus suoritettiin reikänauhoilla, koska ohjauksissa ei ollut muistia. Kun mikropiirit ja transistorit yleistyivät 70-luvulla, syntyi tietokone avusteinen CNC-ohjaus. Kirjainyhdistelmä CNC tulee sanoista computerized numerical control. Tämä toi mahdollisuuden tallentaa työstöohjelma muistiin ennen koneistusta ja samalla ohjelmaa pystyi editoimaan ohjauspaneelista. Tämän päivän digitaalitekniikka on syrjäyttänyt analogisen tekniikan, jolloin koneisiin on saatu paljon uusia ominaisuuksia ja tehokkuutta tuotantoon, vaikka mekaanisilta perusratkaisuiltaan koneet ovat pysyneet lähes ennallaan. Akseliliikkeet tapahtuvat kuularuuviakseleilla, joita käyttävät servomoottorit. Isoimmat mekaaniset muutokset ovat liukujohteiden korvaaminen lineaarijohteilla.

CNC-työstökeskuksen akseliliikkeitä ja toimintoja ohjaa ohjausyksikkö. Ohjausyksikköä ohjataan systeemiohjelmalla, joka vaihtelee ohjausyksikön valmistajasta. Puuntyöstössä käytettäviä ohjauksia ovat esimerkiksi Osai opencontrol ja NUM controller. Systeemiohjelma käsittelee työstöohjelmaa lause kerrallaan ja ohjaa koneen liikkeitä sen mukaan. Työstöohjelma on aina ohjelmoijan tekemä, jossa koneen akseliliikkeet ja toiminnot kuvataan tietyillä koodeilla, numeroiden ja kirjainten avulla. Yksinkertaisilla koneistettavilla kappaleilla voi komentolauseita olla muutama kymmenen ja vaativilla kappaleilla niitä voi olla useita kymmeniä tuhansia. Tämän ansiosta numeriiikka vähentää inhimillisten tekijöiden vaikutusta, jolloin koneistustarkkuus pysyy aina vakiona (Vesämäki, 2014).



KUVA 6. Numeerisen ohjauksen kaaviokuva (Pennanen 2023)

3.2 Teollisessa puurakentamisessa käytettävät CNC-koneet

Ensimmäiset puutuoteteollisuuden CNC-koneet on otettu käyttöön huonekaluteollisuudessa, joilla on haettu automatisaatiota ja tuotantotehokkuutta komponenttien valmistukseen. Kalusteteollisuudessa käytettävät koneet ovat mitoitukseltaan niin sanottuja vakiokoneita, joilla pääsääntöisesti koneistetaan vakiokokoisia MDF-, lastu-, vaneri- ja liimapuulevyjä. Tuotepaksuudet näissä ovat ohuet, jolloin CNC-koneiden jyrsinmoottorien tehot ovat noin 5–10 kW. Teollinen puurakentaminen on asettanut CNC-koneiden suunnittelulle vaatimuksia rungon suunnitteluun ja jyrsinmoottorin tehon kasvattamiseen. Esimerkiksi CLT-tuotteet voivat olla yli 300 mm paksuja, pituus olla yli 12 metriä ja leveys yli 3 metriä, jolloin CNC-koneen rakenne ja moottoritehot on oltava riittävän suuria koneistusta varten. Lisäksi kappaleen työstöt voivat olla vaativia, jolloin koneessa täytyy olla valmiudet interpoloiiviin 5-akselisiin työstöihin. Tällaisten aihoiden työstäminen vaatii riittävän järeitä erikoisteriä, jolloin niiden painot voivat olla yli 50 kg. Jyrsinmoottoreiden tehot vaihtelevat isoissa CNC-koneissa 22–50 kW vääntömomentista ja kierrosnopeuksista riippuen. Halkaisijaltaan pienien 6–40 mm jyrsinterien pyörintänopeudet pitää olla 18000 rpm, jotta saavutetaan riittävä kehänopeus leikkuuta varten. Suurilla terillä, kuten halkaisijaltaan 850–1000 mm sirkkelin pyörintänopeus on vain noin 1600 rpm. Tämä asettaa jyrsinmoottoreille haasteita vääntömomenttien suhteen, koska pienillä kierrosnopeuksilla 1000 rpm on saatava täydet vääntötehot suurten sirkkelien käyttöä varten. Liitteessä 1 on kuvaaja HSD:n jyrsinmoottorin vääntömomentista suhteessa kierrosnopeuteen. Mikäli jyrsinmoottorissa ei vääntömomentti riitä, niin silloin voidaan käyttää alennusvaihdetta terän ja jyrsinmoottorin välissä, joka mahdollistaa suurempien kierrosnopeuksien käyttämisen. Tässä opinnäytetyössä selostetaan tarkemmin Punkaharjun Puutaito Oy:n käytössä olevan Biesse Uniteam Extra BM 3-koneen ominaisuuksia.

3.2.1 CNC-ohjattu palkkityöstökeskus

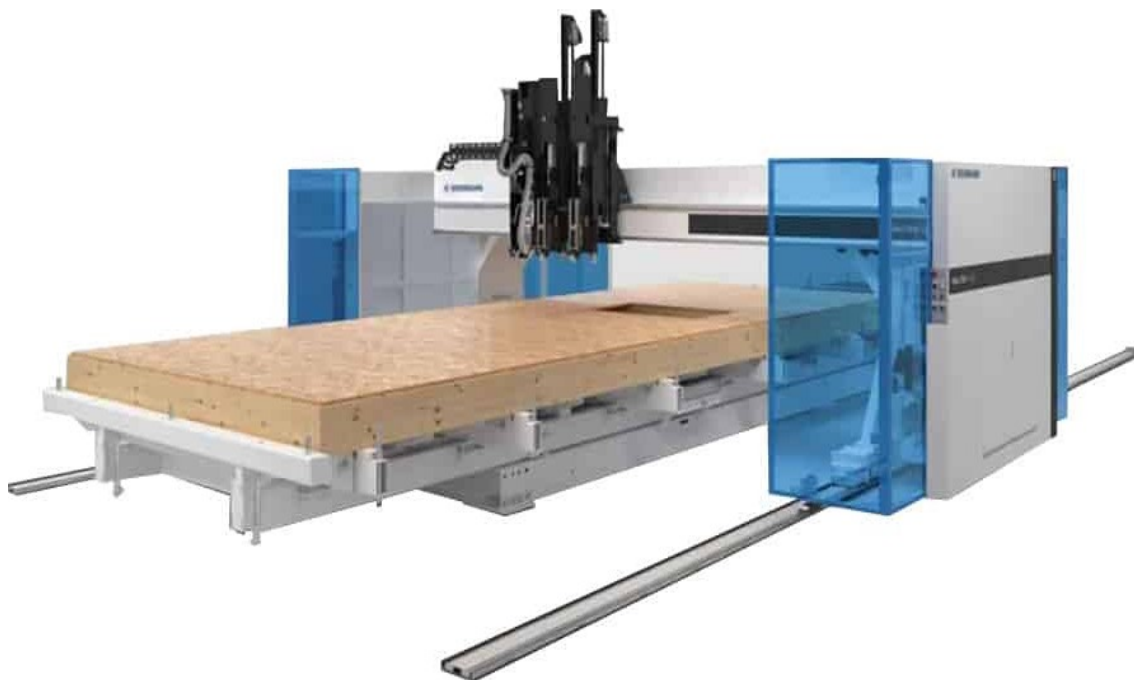
Palkkityöstökeskuksia käytetään esimerkiksi hirsitaloteollisuudessa ja pre-cut valmistuksessa, jossa työstökeskus tekee vaaditut koneistukset ja pituuskatkaisut. Kyseiset työstökeskukset ovat 6-akselisia, jolloin palkin tai hirren kaikkiin sivuihin voidaan tehdä työstöjä. Palkkityöstökeskukset ovat täysin automaattisia, jolloin konelinjalla riittää yksi operaattori. Linjaston alkupäässä on aihionippu, josta syöttölaite noutaa palkkiaihion yksitellen syöttölinjalle. Tässä vaiheessa koneeseen on syötetty työstöohjelma, joka on yleensä katkaisulista-tyylinen. Eli yhden työstöohjelman alla voi olla useita erilaisia osia, joita kone työstää ohjelmoidussa järjestyksessä ja käsittelee niitä omina kappaleina. Tämän tyyppisiin työstöohjelmiin saadaan koneistustiedot suoraan 3D-mallista esimerkiksi btl-formaatin kautta. Jokaisella osalla on oma tunnuksensa ja ne merkitään esimerkiksi tunnistetarralla jatkokäsittelyä varten. Valmiin kappaleen kone poistaa kuljetinta pitkin pinonta-asemalle pakkaukseen. Kappaleiden paketoinnissa on jo otettu työstövaiheessa huomioon työmaan tai kokoonpanon asennusjärjestys. Tällä tavalla saadaan paketointivaiheessa hallittua asennusjärjestyksen vaatimukset.



KUVA 7. Biesse Uniteam CK palkkityöstökeskus (wtp.hoechsmann.com)

3.2.2 CNC-ohjattu monitoimisilta

Monitoimisiltoja on alettu kehittämään erityisesti rankarunkoisten elementtien valmistusta ajatellen. Vielä tänä päivänä on paljon tehtaita, jossa on manuaalisesti toimivia linjastoja. Näissä kaikki kokoonpanot tehdään manuaalisesti käsityökaluilla, mikä vaatii paljon henkilöstöresursseja tuotannon läpiviemiseksi. CNC-ohjatuilla monitoimisilloilla pystytään samat työvaiheet tekemään pienemmällä henkilöstömäärällä jäseneltyjen tuotantoprosessien ansiosta. Tämantyyppisiin konelinjoihin syötetään työstö- ja kasaustiedot automaattisesti CAD- pohjaisesta suunnitteluohjelmasta, jolloin asennusvirheet saadaan käytännössä poistettua. Monitoimisillan alkupäässä on seinärungon kasausvaihe, jossa kone osaa CNC-ohjelman mukaan itse säätää jigivasteet oikeaan asemaan runkotolppia varten. Tämän jälkeen operaattori asettelee ylä- ja alaohjauspuut jigivasteisiin manuaalisesti, jonka jälkeen monitoimisilta kasaa rungon työstöpäissä olevilla paineilmanaulaimilla automaattisesti. Seinärungossa voi olla myös seinä- ja ikkuna-aukkoja, jotka kone osaa myös huomioida kasausvaiheessa. Kun runko on kasattu, operaattori asettelee tuulensuojalevyt tai -villat rungon päälle, jonka jälkeen kone kiinnittää tuulensuojalevyt runkoon ja sen jälkeen koneistaa automaattisesti tarvittavat aukko-läpiviennit, jotka ovat jo runkovaiheessa otettu huomioon. Tämän jälkeen voidaan asentaa tuuletuskoolaukset ja ulkoverhoilun, jonka kone automaattisesti kiinnittää runkoon. Kun monitoimisilta on suorittanut ohjelman loppuun, se antaa luvan siirtää kasatun elementin kääntölaitteeseen, jossa seinäelementti käännetään 180 astetta. Tämän jälkeen voidaan asentaa seinän sisälle tulevat lämpöeristekerrokset ja höyrynsulkumuovit, vaakakoolaukset ja pintalevytykset. Valmis seinäelementti yleensä käännetään pystyyn, ja siirretään pakkaamoon.



KUVA 8. Weinmann Wallteq M-300 monitoisilta (www.projecta.fi)

3.2.3 CNC-ohjattu portaalityöstökeskus

Teollisessa puurakentamisessa käytettävien CNC-portaalityöstökeskukset ovat isoja laitekokonaisuuksia. Dimensioiltaan isot CLT- ja GLVL-tuotteet asettavat koneiden rakenteille ja toiminnolle paljon vaatimuksia. Toimintaperiaatteeltaan portaalityöstökeskukset ovat samankaltaisia kuin CNC-ohjatut monitoimisillat. Portaalityöstökeskusten työalue voi olla jopa 50 metriä ja leveyttä 4,5 metriä. Tämä asettaa koneen toiminnan ympärille vaatimuksia, suuren hallitilan ja riittävän järeät siltanosturit kappaleiden nostoja varten. Esimerkiksi GLVL aihio, joka on mitaltaan 300x2400x16000 mm painaa 5760 kg.

Portaalityöstökeskus toimii niin, että koneistettava kappale on asetettu kiinteästi työalueelle ja portaali suorittaa kaikki liikeradat ja toiminnot. Koneistettava kappale nostetaan työalueelle siltanosturien avulla. Kappale voidaan joko laittaa ”johonkin” kohtaa alueelle, jolloin sen ääripisteet täytyy määrittää portaalissa olevan paikoituskameran avulla. Kun ääripisteet on määritetty, kone osaa ottaa huomioon kappaleen aseman offset- eli poikkeama-arvoina ja huomioida ne koneistusta tehdessä. Toinen tapa on käyttää kiinteää referenssipistettä kappaleelle, jolloin ääripisteitä ei tarvitse tarkistaa kameralla. Tämä on huomattavasti nopeampi tapa asettaa kappale työalueelle ja saada tuotanto käynnistettyä.

Jotta paksuja GLVL- ja CLT-tuotteita pystytään koneistamaan, tarvitaan dimensioiltaan suuria työkaluysiköitä. Esimerkiksi sirkkelin terä on oltava halkaisijaltaan vähintään 850 mm, jotta 300 mm paksun ainevahvuuden sahaaminen on ylipäättään mahdollista. CNC-kone pystyy käyttämään monenlaisia työkaluja, kuten esimerkiksi sirkkeleitä, poria, jyrsinteriä, kursoja ja agregaattiyksiköitä, kuten esimerkiksi ketjusahaa. Portaalityöstökeskukset ovat lähes aina 5- askelisia koneita, jolloin vaativat

kolmiulotteiset koneistukset ovat mahdollisia. Työkalut ovat yleensä rivi- tai revolverimakasiineissa, josta kone ottaa aina tarvittavan työkalun käyttöön työstöohjelman mukaan.



KUVA 9. Työkaluja rivimakasiinissa (Biesse Group 2018)

4 SUUNNITTELUSSA JA TUOTANNOSSA KÄYTETTÄVÄT OHJELMISTOT

4.1 BIM-tietomallinnus

Tämän päivän suunnitteluohjelmilla saadaan tehtyä rakennuksesta erittäin tarkkaa 3D-mallinnusta. Tätä kutsutaan tietomallintamiseksi, eli BIM-tietomalliksi (Building Information Modelling), jolla pyritään parantamaan suunnittelun ja rakentamisen laatua. Laajemmin ajateltuna, tietomallintamisella kyse eri prosesseista, joilla hallitaan rakennuksen ja rakennetun ympäristön tietoja yhteisesti sovitulla säännöillä ja toimintatavoilla. Kun kaikki suunnittelun osapuolet tekevät yhteistyötä yhtenäisten mallien ja tiedonhallinnan parissa, saadaan tällä tavoin suurin hyöty tietomallinnuksessa (Sitowise Group).

Yksi tärkeimmistä ominaisuuksista tietomallinnuksessa on löytää mahdolliset virheet suunnitteluprosessin aikana. Mikäli virheitä ei suunnitteluvaiheessa havaita, niin silloin ne joudutaan korjaamaan työmaalla, mikä taas aiheuttaa lisäkustannuksia ja hankkeen viivästymistä. Kun rakennuksen tietomalli on huolellisesti suunniteltu ja törmäystarkastelut suoritettu, voidaan mallista jakaa eri osa-alue-tietoja valmistajille ja työmaalle, esimerkiksi IFC-tiedostojen avulla. Eniten käytetty siirtotiedostoformaatti on IFC-malli (Industry Foundation Classes), joita yleisimmät rakennesuunnitteluohjelmat pystyvät tallentamaan. Kun suunnittelijan käyttämällä CAD-ohjelmiston natiivitiedosto siirretään IFC-muotoon, on varmistuttava, ettei tietoa häviä prosessin aikana. Esimerkiksi puurakenteisen kerrostalon CLT- seinäelementin valmistustiedot saadaan IFC-tiedoston kautta elementtien valmistajalle, jolloin on erittäin tärkeää, että kaikki tieto valmistusta varten saadaan IFC:n kautta. Valmistustiedoissa on oltava tiedot elementin päämitoista, aukotuksista, huulloksista ja sähkörsiavararuksista. IFC-tiedostoa voidaan tarkastella ilmaisilla katseluohjelmilla kuten, esimerkiksi BIM Viewer- ja Solibri Viewer- sovelluksilla.

4.1.1 CAD-ohjelmistot

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan Suomessa yleisesti käytettyjä CAD-ohjelmia ja niiden ominaisuuksia tallentaa btl-tiedostoformaattia. Btl-formaatin tallennusominaisuus ei ole ohjelmistoissa vakiona, vaan ne ovat yleensä maksullisia lisäosia. Rankarunkoisten rakennusten elementtisuunnitelmassa pystytään hyödyntämään tällä hetkellä parhaiten btl-tallennusta palkkityöstökeskuksille. Jos halutaan samanlaista tallennusominaisuutta käyttää CLT- tai LVL- elementeissä, niin se on vielä monilla ohjelmistoilla puutteellista tai mahdotonta.

Trimble on kansainvälinen paikkatietopohjaiseen teknologiaan keskittynyt yritys. Sen tuotevalikoimaan kuuluvat Tekla-ohjelmistot, joilla voidaan tehdä tietomallintamista ja rakennesuunnittelua (Tekla). Tällä hetkellä Tekla-ohjelmistolla ei pystytä tallentamaan kunnollista btl-formaattia suoraan CNC-koneelle, esimerkiksi CLT-elementistä. Tämä testattiin niin, että Tekla-ohjelmalla tallennettiin CLT-elementti btl-muotoon, joka avattiin Ddx Easywood ohjelmalla. Tässä vaiheessa esimerkiksi sähkörsiavarauksia oli jäänyt pois. Btl-tallennusta Trimblelle on kehittänyt Contrusoft (Tekla).

ArchiCad on monikansallisen Graphisoft yhtiön ohjelmistotuote. ArchiCad on rakennesuunnitteluohjelma, jonka voi laajentaa ArchiFrame-ohjelmalla puurakennesuunnitteluohjelmaksi. Rankarunkoisten rakenteiden osat voidaan tallentaa btl-formaattiin ja hyödyntää sitä palkkityöstökeskuksessa.

Tätä opinnäytetyötä tehdessä, ohjelmalla ei saatu tallennettua btl-formaattia CLT-elementistä. ArchiFrame-ohjelmaan on saatavilla btl-tallennusominaisuus CLT-elementeille vuoden 2023 aikana (ArchiFrame Oy).

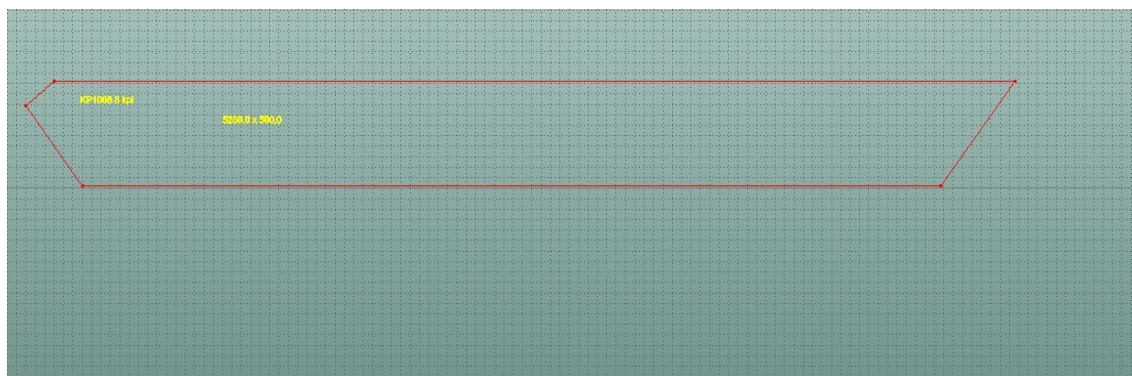
Vertex System on suomalainen tiedonhallinnan ohjelmistoratkaisujen toimittaja. Rakennesuunnittelussa käytetään Vertex BD ohjelmistoa. Vertex BD ohjelmalla voidaan rankarakennusosien katkaisulistoja viedä automaattisesti tiettyjen konevalmistajien CNC-palkkityöstökeskuksiin. Varsinaista btl-tallennusta kyseisellä ohjelmalla ei vielä pystytä tallentamaan. Vertex System on kertonut, että btl-formaatin kehitystyö on käynnissä ja sen pitäisi olla käytössä vuoden 2023 loppuun mennessä (Vertex System).

Cadwork on sveitsiläinen ohjelmistoyritys, joka on keskittynyt erityisesti puurakenteiden suunnitteluun. Ohjelmalla voidaan tallentaa useita eri formaatteja, mukaan lukien btl- muoto. Ohjelmalla pystytään myös tallentamaan CLT-elementit btl-formaattiin, sekä suorittaa raaka-aine optimointia (Cadwork, 2020).

Hsbcad on ohjelmistoyritys, joka on perustettu vuonna 1988 Belgiassa. Ohjelmalla on valmiit liittotyytit ranka- ja hirsituotantoon, sekä CLT-suunnitteluun. Erilaisten tiedostoformaattien tuonti ja tallentaminen on mahdollista tällä ohjelmalla. Tässä opinnäytetyössä tullaan tarkastelemaan Hsbcad ohjelmalla tallennettua btl-tiedostoa (Hsbcad).

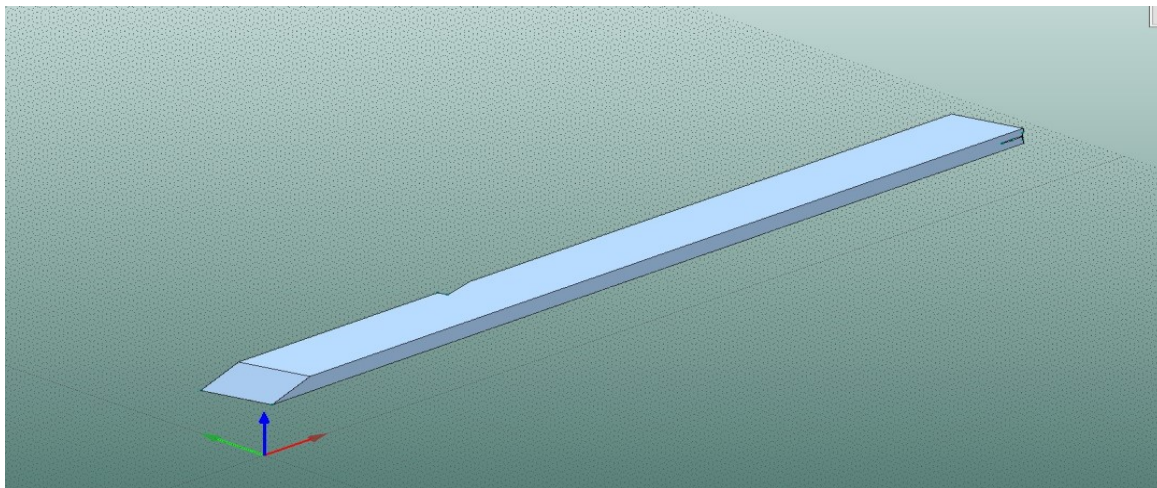
4.2 CAM-ohjelmistot

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan Ddx Easywood CAM-ohjelmistoa, joka on käytössä Punkaharjun Puutaito Oy:ssä. Kirjainyhdistelmä CAM muodostuu sanoista computer aided manufacturing, eli tietokoneavusteinen valmistus. Kun CAD ohjelmalla suunniteltu ja mallinnettu tuote on valmis tuotantovaiheeseen, voidaan siirtotiedoston avulla siirtää geometria- ja pintatiedot CAM-ohjelmaan (Zhuming Bi, 2020). Joissakin tapauksissa CAD-ohjelmilla on tuotettu ainoastaan kaksiulotteinen kuva kappaleesta, vaikka siinä on kolmiulotteisia muotoja, jolloin lopullinen mallintaminen tehdään CAM- ohjelmalla. Uusimmissa CAM- ohjelmissa on erittäin hyvät CAD-ominaisuudet niin 2D- kuin 3D-mallintamiseen. Tällaisten ominaisuuksien avulla voidaan graafisesti testata ja muokata tuotetta, ilman prototyypin valmistusta.



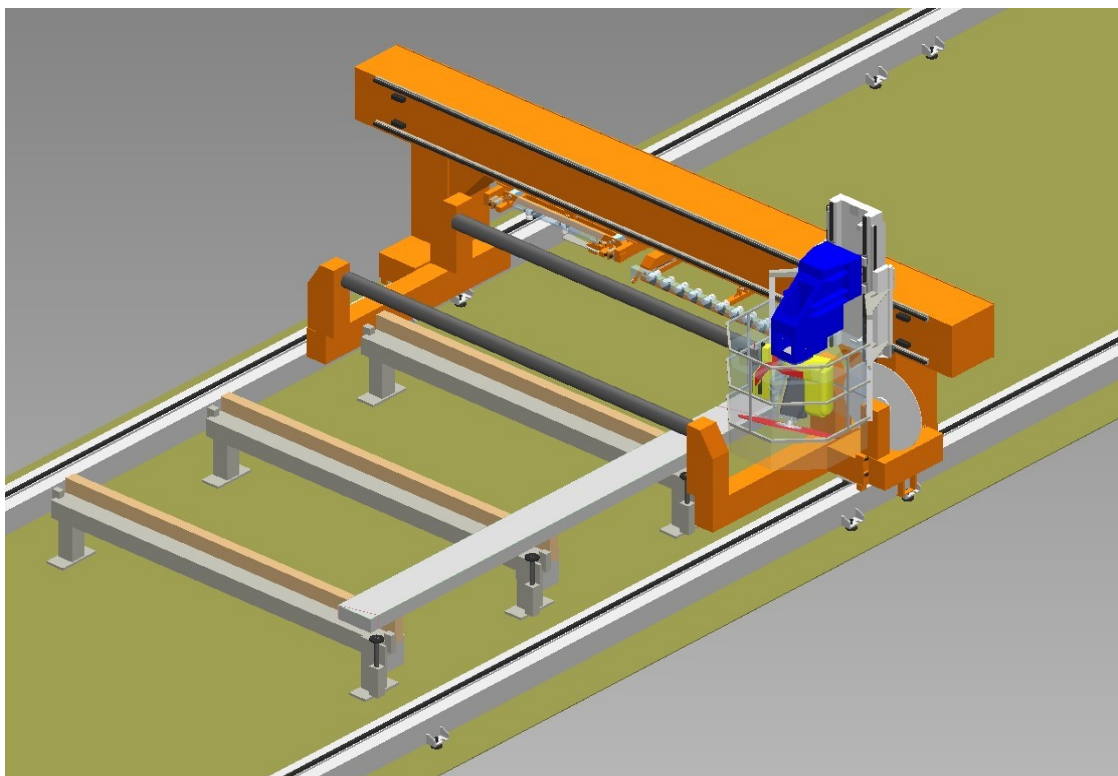
KUVA 10. 2D kuva lvi-palkista (Pennanen 2023)

CAM- ohjelma tunnistaa mallinnetun tuotteen geometriat, pinnat ja väritiedot, jos niitä on käytetty. Jos tuote muodoltaan kaksiulotteinen, niin silloin riittää pelkästään geometriatiedot. Tällöin valitaan mallista halutut geometriat ja tehdään niihin valitulla työkalulla tarvittavat työstöt. Mikäli tuotteessa on muotoja, kuten esimerkiksi jiiripalkki, niin silloin se on mallinnettava kolmiulotteiseksi ja luotava jokaiselle tahkolle pinnat. Kun valitaan vinossa oleva pintatieto, osaa ohjelma automaattisesti muuttaa työkalun kallistuskulmaa pinnan mukaan. Kolmiulotteisessa ohjelmoinnissa ohjelman on oltava 5- akseliselle CNC-koneelle yhteensopiva. Joissakin tapauksissa pintoja tai geometrioita voidaan merkitä eri väreillä, jolloin valitsemalla jokin tietty väri, voidaan sen alla olevat pinta- tai geometriatiedoille ohjelmoida omat työstöoperaatiot.



KUVA 11. 3D kuva liimapuupalkista (Pennanen 2023)

CAM- ohjelmilla voidaan luoda erilaisia työstöoperaatioita, kuten esimerkiksi porauksia, aukotuksia, sahauksia, reunatyöstöjä ja muotoprofilointeja. Ennen työstöoperaation luomista, täytyy valita työkalu, jolla on tarkoitus operaatio suorittaa. Työkalulle määritetään halkaisija- ja pituustieto, pyörimisnopeus, lähestymis- ja työstönopeus sekä määritetään sen sijainti terämakasiinissa. Lisäksi työkalulle voidaan asettaa ehtoja, kuten esimerkiksi maksimi ainevahvuus ja pyörimisnopeus. Itse työstöoperaation luominen tapahtuu niin, että valitaan haluttu geometria tai pinta, joka tulee koneistaa. Ohjelma ottaa työstöradan luomisessa huomioon terän halkaisijätiedon. Kun työstöoperaatio on luotu, suoritetaan koneistussimulaatio. Simulaation avulla voidaan varmistaa ensinnäkin, että valmistettava kappale on halutun lainen ja toisekseen tarkistetaan, ettei koneistuksen aikana tapahdu törmäyksiä. Tämän päivän ohjelmissa, simulaatioissa on mallinnettu varsinainen CNC-kone ja sen tekemät akseliliikkeet. Mikäli simulaatiossa tapahtuu törmäys, niin se ilmoittaa siitä virhekoodilla viittauksena epäkelpoon työstöoperaatioon.



KUVA 12. Koneistussimulaatio (Pennanen 2023)

Viimeisenä vaiheen CAM-ohjelmoinnissa on muuttaa työstöoperaatiot CNC-koneelle suoritettavaksi koodiksi. Tämä tapahtuu postprossessorin avulla. Jokaiselle CNC-koneelle on oma postprossessori, jossa on huomioitu koneen ominaisuudet ja sisäiset rajoitteet. Kun lopullinen työstökoodi on tallennettu, sitä voidaan tarkastella esimerkiksi tekstieditorin avulla. Tekstieditorissa voidaan vielä tehdä koodiin muutoksia, mutta suositeltavaa on aina tehdä muutokset CAM-ohjelman ja simulaation kautta.

4.2.1 Ddx-Easywood

Ddxgroup on italialainen ohjelmistoyritys, joka on perustettu vuonna 2001. Sen pääkonttori sijaitsee Bergamossa ja sillä on sivutoimipisteitä Saksassa, Espanjassa ja Ranskassa. Henkilöstöä yhtiöllä on noin 80 henkilöä. Ddxgroup tarjoaa ohjelmistoratkaisuja puun, lasin, kiven ja komposiittimateriaalien käsittelyyn CAD-CAM-ohjelmistolla. Ddxgroup:in kehittämät CAM-ohjelmistot ovat yhteensopivia useiden eri konevalmistajien kanssa, kuten esimerkiksi Biesse, Homag ja SCMGroup.

5 BTL- TIEDOSTOFORMAATTI

5.1 Btl-tiedostoformaatin periaate

Btl-formaatin avulla saadaan CAD-ohjelmasta rakenneinformaatiota esivalmistusta ja kokoonpanoa varten. Sen avulla saadaan myös parametrisen kuvauksen puurakennuksen komponenttien geometrioista. Näin saadaan täydellinen kuvaus komponentin muodosta ja niihin liittyvistä koneistuksista ja käsittelyistä. Lisäksi btl-tiedostoformaatti on CNC-koneesta riippumaton muoto.

Btl- ja Btlx-formaatit ovat ilmaisia standardeja, joita voidaan käyttää eri CAD-ohjelmistojen väliseen tiedonvaihtoon, sekä CAD- ja CAM-ohjelmien väliseen tiedonvaihtoon. Kyseiset formaatit ovat xml-pohjaisia standardeja, jotka sisältävät xml-skeeman btl-tiedostojen validointiin. Btl-tiedostoja voidaan esikatsella Btl-viewer-ohjelmalla, jonka voi ilmaiseksi ladata tietokoneelle (design2machine, 2023).

Teollisessa puurakentamisessa btl-formaattia on hyödynnetty pitkään keski-Euroopassa. Suomessa tätä formaattia on alettu vasta hyödyntämään viime vuosina. Suurissa rakennusprojekteissa, yhteistyön merkitys kasvaa eri sidosryhmien välillä. Tämä edellyttää uudenlaista yhteistyön laatua tiedonvaihdossa suunnittelun, valmistuksen ja työmaan välillä. Btl-formaattia hyödyntämällä vältetään tiedonsiirrossa tulevia virheitä. Lisäksi voidaan tarkastella komponenttia kolmiulotteisesti ja tunnistaa sen sijainti rakennuksessa. Tällä tavoin pystytään havaitsemaan komponentin liitosdeltajit viereisiin komponentteihin.

Jos tarkastellaan esimerkiksi 4- kerroksista puukerrostaloa, jossa on vaikka noin 2000 erilaista komponenttia, niin tällaisen tietomäärän saaminen tuotannolliseen rajapintaan saadaan btl-formaatin kautta. Tällä tavoin voidaan määrittää koneistustiedot ja nimiketunnukset jokaiselle komponentille, ilman että niitä tarvitsee manuaalisesti ohjelmoida tai lisätä jälkeempään CAM-ohjelmissa. Samalla saadaan tuotantoon tehokkuutta, kun CNC-ohjelmat luodaan automatiikan kautta, ja inhimillisten virheiden mahdollisuudet saadaan rajattua pois. Mikäli vastaavanlainen tietomäärä siirrettäisiin CAD-ohjelmasta esimerkiksi dwg-formaatin kautta, niin silloin ei saada samoja koneistustietoja ja nimiketunnuksia automaattisesti. Tällöin CNC-ohjelmoija joutuu luomaan kaikki työstöradat manuaalisesti, sekä lisäämään jokaiselle osalle yksilölliset tunnukset. Tämä voi johtaa siihen, että ohjelmointivirheitä tapahtuu tai komponentit ovat väärin nimetty. Esimerkiksi jostakin komponentista on jokin työstö jäänyt pois tai se on väärässä paikkaa. Mikäli tätä ei huomata koneistuksen jälkeen, niin vaarana on, että virhe havaitaan työmaalla, mikä taas aiheuttaa viivästyksiä asennuksessa.

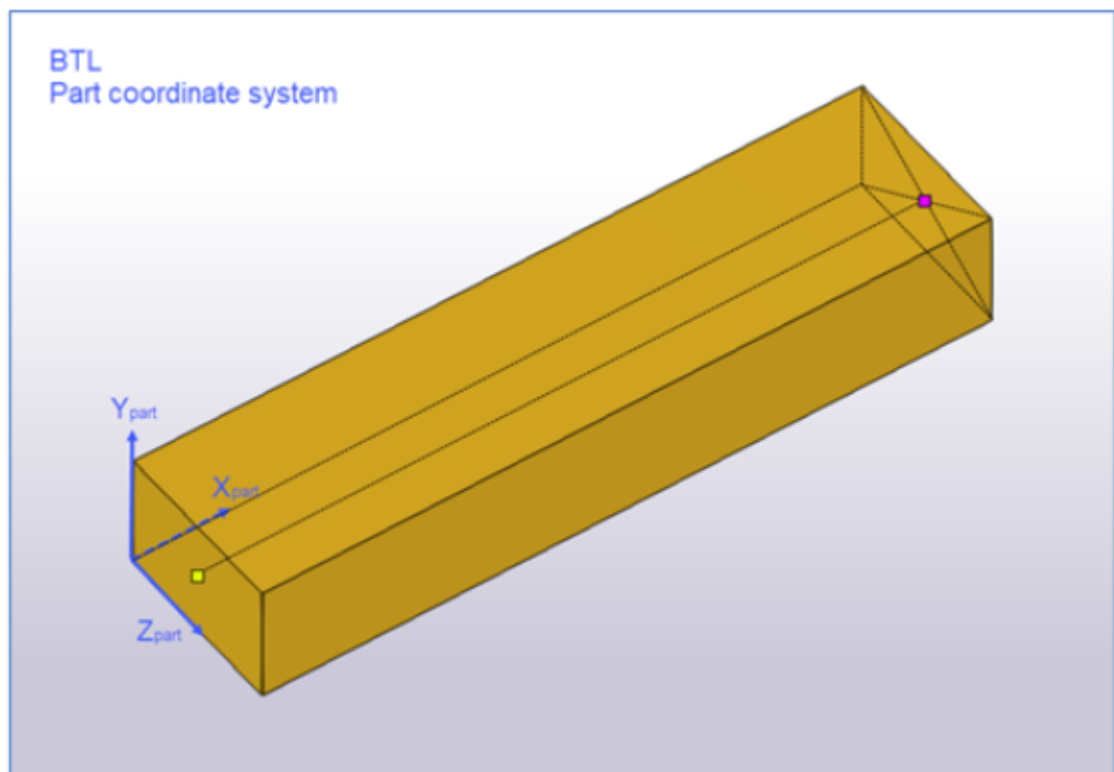
5.1.1 Btl:n ominaisuudet

Valmistettavat komponentit voivat olla monimutkaisia, joita kuitenkin pystytään kuvaamaan btl-muodossa, niin kuin ne ovat todellisessa rakennuksessa. Yhdessä komponentissa saattaa olla samaan aikaan esimerkiksi porauksia, huulloksia ja olakkeita. Lisäksi btl- formaatilla voidaan tehdä raaka-aineoptimointia eli nestausta. Jokainen koneistustyyppi on määritelty omiin luokkiin. Alla listausta luokista (design2machine, 2023).

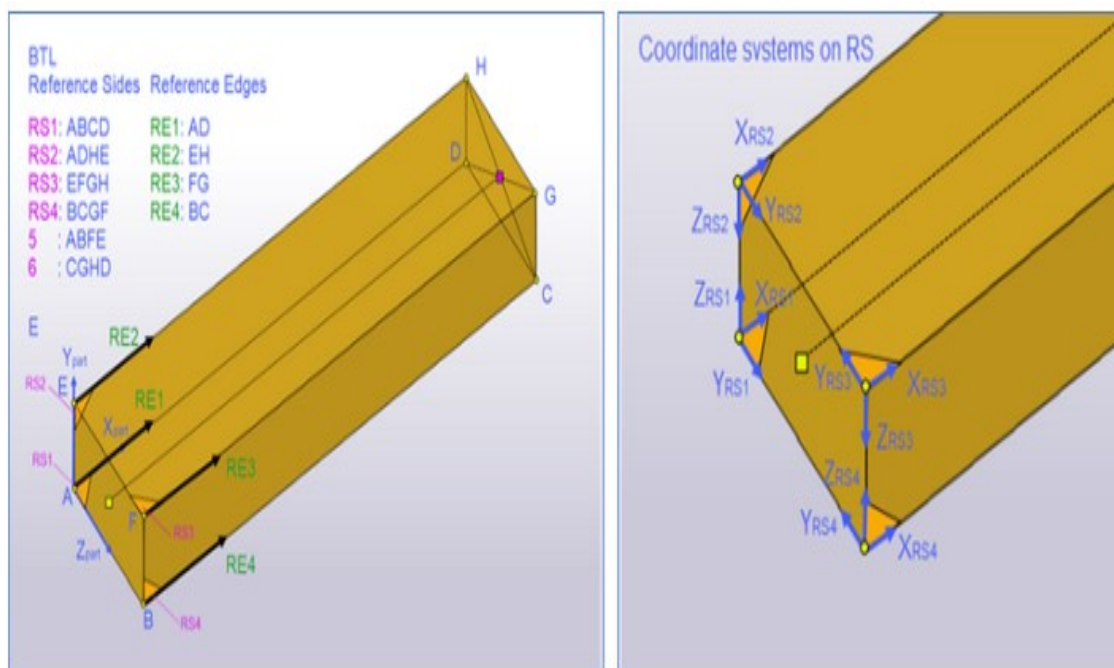
- Lap Joint, lapaliitos
- Simple Scarf, viisteliitos

- Step Joint, upotusliitos
- Birds Mouth, kattopalkin ja seinän välinen liitos
- Cutting, sahaus halutussa kulmassa
- Log Construction, hirsinurkkaliitokset
- Planing, höyläys
- Tenon and mortise, tappiliitos,
- Contour and Outline, ääriviivat
- Nesting, raaka-aineoptimointi
- Prefabrication, esivalmistus
- Text and marking, komponentin merkintä
- Profile head, koneistusprofiili

Btl-formaatissa kappaleella on aina X-, Y- ja Z-koordinaatit, jolloin kappaleella on neljä pitkittäissivua ja kaksi päätyisivua. Pitkittäisiä sivuja kutsutaan referenssisivuiksi, jotka ovat numeroitu 1, 2, 3 ja 4. Päätyisivut merkitään numeroilla 5 ja 6. Jokaisella referenssisivulla on oma paikallinen koordinaatistonsa, jonka suhteen työstöoperaatio määritetään. Kuvissa 13 ja 14 on esitetty koordinaatistojen periaatteet.



KUVA 13. Kappaleen koordinaatisto(www.tekla.com)

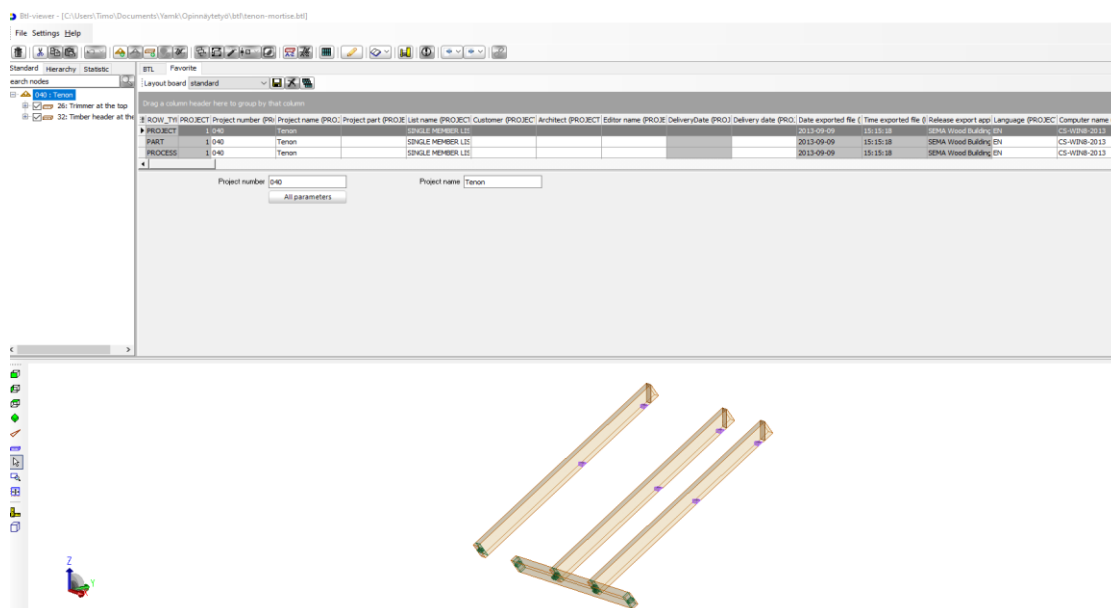


KUVA 14. Referenssisivujen paikalliset koordinaatistot(www.tekla.com)

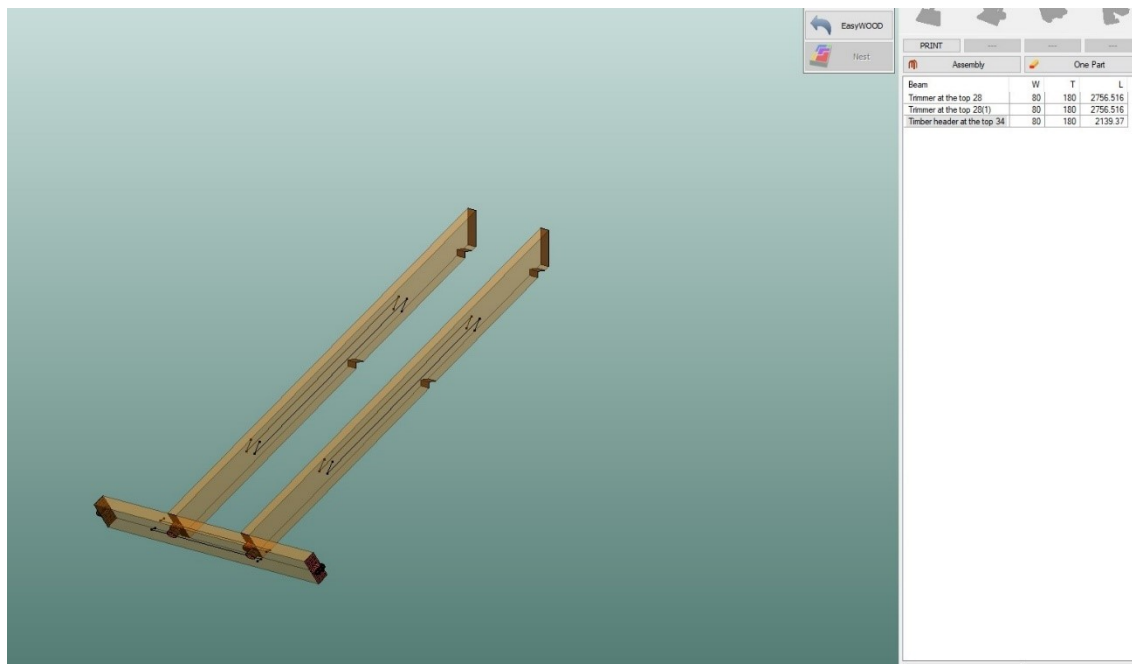
Jos kappaleelle on piirretty upotus liitosta varten, niin se määritetään kyseiseltä referenssipuolelta ja sillä on oma paikallinen koordinaatisto työstooperaatiolle (Tekla).

5.2 Btl-tiedostoformaatin käsitteleminen

Btl-tiedoston voi suoraan avata tarkastelua varten ilmaisella btl- katseluohjelmalla. Ohjelmalla pystytään tarkastelemaan komponenttiin luotuja ominaisuuksia, dimensioita ja tunnistetietoja. Yhdellä komponentilla saattaa olla useita luotuja ominaisuuksia, kuten esimerkiksi sahauksia, viisteitä ja porauksia. Kun sama tiedosto tuodaan CAM-ohjelmaan, se analysoi tallennetut ominaisuudet ja niitä voi tarkastella ja tarvittaessa muokata, ennen automaattista ohjelmointia. Kuvissa 15 ja 16 on sama btl-tiedosto avattuna katseluohjelmalla ja CAM-ohjelmalla.

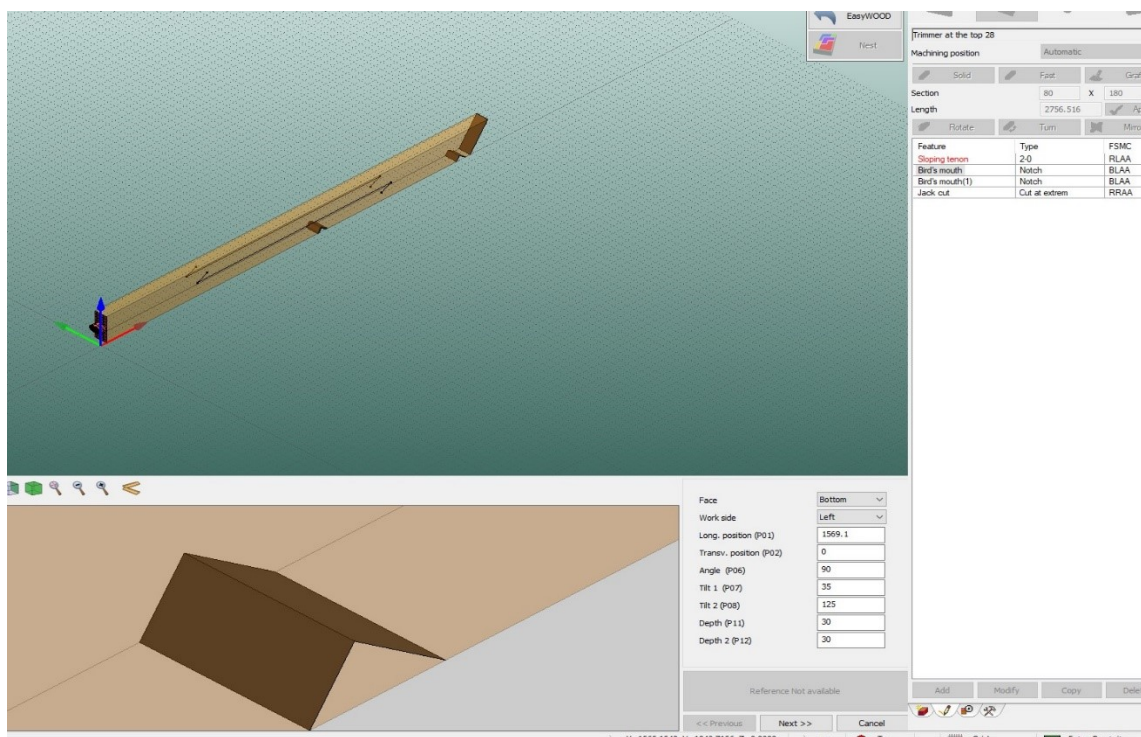


KUVA 15. Näkymä btl- katseluohjelmasta(design2machine)



KUVA 16. Näkymä Ddx- ohjelmasta, jossa sama tiedosto avattuna (Pennanen 2023)

Tiedoston näkymä katseluohjelmalla ja CAM-ohjelmalla on lähes samanlainen. Esimerkiksi Ddx-ohjelmalla voidaan tässä tapauksessa tarkastella koko kokoonpanoa, jossa kaikki komponentit ovat kolmiulotteisesti liitetty toisiinsa, tai niitä voidaan tarkastella yksitellen. Kun osia tarkastellaan yksitellen, voidaan todeta niiden dimensiot tunnuksat ja koneistukset. Ohjelma listaa jokaisen komponenttiin tallennetut ominaisuudet, josta nähdään tehtävät koneistukset. Koneistuksia pystytään vielä tässä vaiheessa muuttamaan ennen lopullista ohjelmointia. Kuvassa 17 kuvattuna yhden komponentin työstöt.



KUVA 17. Yhden komponentin Birds Mouth-työstö (Pennanen 2023)

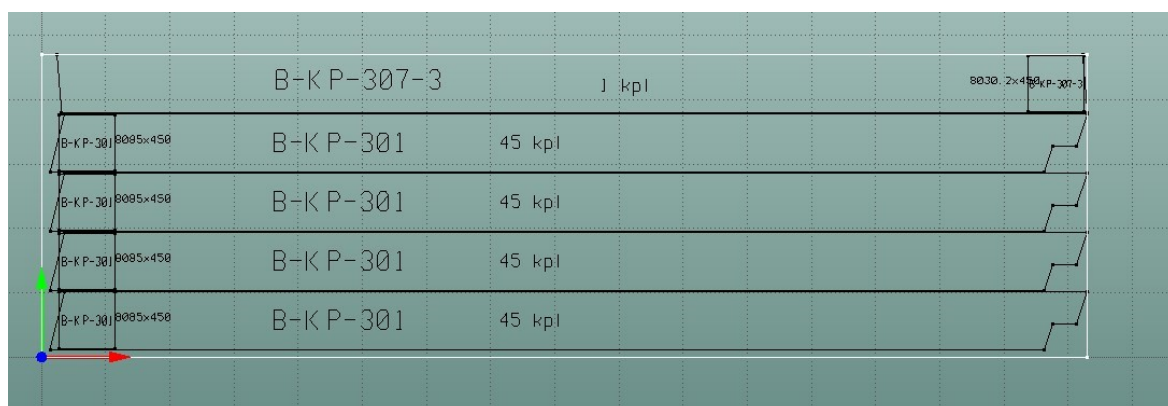
Kun btl-tiedosto tuodaan CAM-ohjelmaan, ohjelma analysoi siihen tallennetut ominaisuudet listamalla ne. Ominaisuuksia voidaan vielä tässä vaiheessa muokata, esimerkiksi jos palkissa olevaa aukon kokoa halutaan muuttaa. Ennen työstörajojen luomista, ohjelmoijalla pitää olla tiedossa mitä terätyökaluja tullaan projektissa käyttämään. Työkalutiedot voidaan konfiguroida niin, että annetaan niille prioriteettiarvoja, jolla määritetään työstöjärjestys. Lisäksi työkaluille määritetään koneistustyyppit, jolla voidaan hallita, mitä työstöoperaatioita jollakin työkalulla halutaan tehdä. Tämän jälkeen voidaan suorittaa automaattinen työstörajojen ohjelmointi, jolloin CAM-ohjelma osaa valita oikean tai oikeat työkalut suorittamaan btl-tiedostoon tallennettua ominaisuutta. Esimerkiksi, jos elementissä on oviaukko, niin ohjelma osaa automaattisesti tehdä esisahaukset ja sisänurkkien koneistukset oikeilla työkaluilla. Yhden btl-tiedoston alla voi olla useita nestattuja laattoja, jolloin jokainen laatta ohjelmoidaan automaattisesti, jolloin niistä muodostuvat itsenäiset ISO-koodi-tiedostot. Vaihtoehtoisesti vain yksi ahiolaatta tallennetaan omaksi btl-tiedostoksi, jolloin tiedostokoot pysyvät maltillisina.

6 RAAKA-AINEOPTIMOINTI ELI NESTAAMINEN

6.1 Nestauksen periaate

Nestauksella tarkoitetaan työstettävien kappaleiden sijoittelua aihiolle niin, että materiaalihukka on mahdollisimman pientä ja työstöratojen luonti on mahdollista. Työstettäville kappaleille voidaan antaa ehtoja, miten ne sijoitellaan aihiolle. Esimerkiksi kappaletta saa tai ei saa pyörittää sijoittelun aikana. Etenkin puutuotteissa syynsuunnalla on merkitystä, joten silloin kappaleelle ei anneta lupaa kääntyä 0–90 astetta. Toinen tärkeä arvo on määrittää sijoitettavalle kappaleelle koneistusvarat, jolloin jokaisen kappaleen väliin jää määritetty etäisyys. Esimerkiksi suorien LVL-palkkien välinen etäisyys pitää olla vähintään yhtä suuri kuin sahan terä. Jos aihiolle on sijoitettu useita erilaisia osia, niin silloin tarvitaan suuremmat koneistusvarat, koska silloin käytetään sahauksen lisäksi tappijyrsimiä, joiden halkaisijat voivat olla esimerkiksi 16–60 mm. Joissakin kappaleissa voi olla kolmiulotteisia koneistuksia, jolloin koneistusvaroja tarvitaan enemmän 5-akselisia koneistusoperaatioita varten. Ennen lopullista nestautusta, on vielä määriteltävä aihiomateriaalien dimensiot, joihin kappaleet halutaan sijoittaa. Dimensiot pitää aina varmistaa raaka-aineen toimittajalta, jotta saadaan oikeanlainen nestautusulos. Tämän jälkeen voidaan suorittaa lopullinen nestaus, jolloin ohjelma ehdottaa kappaleiden sijoittelun ja raaka-aine tarpeen. Nämä tiedot saadaan tulostettua excel-tiedostoon, jolloin raaka-aineen ja kustannusten laskeminen on tehokkaampaa. Lisäksi aihioille määritetään yksilölliset tunnistet, jonka mukaan koneistukset suoritetaan. Kaikki excel-tiedostoon tulostetut tiedot on mahdollista siirtää ERP-järjestelmään.

Jokaiselle sijoitettavalle kappaleelle annetaan oma tunnistetieto, joka on yleensä määritelty valmistuskuvissa. Tällä tavoin saadaan kaikki valmistettavat osat merkittyä sen tunnistetiedolla.

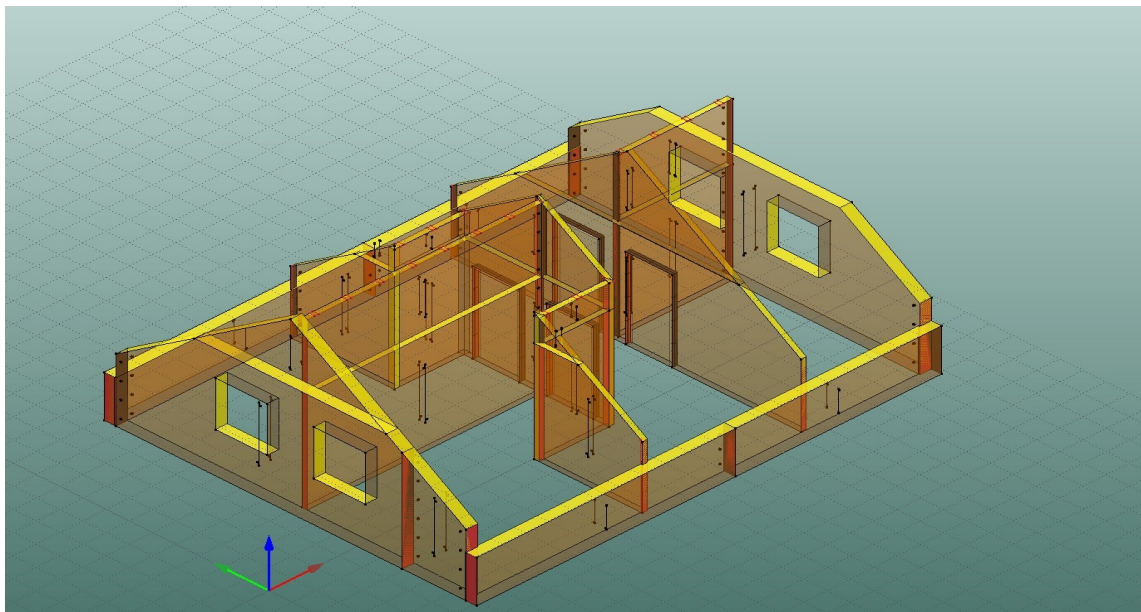


KUVA 18. Sijoitettuja kappaleita aihiolle (Pennanen 2023 Sijoitettuja kappaleita aihiolle)

6.2 Raaka-aineoptimoinnin suorittaminen

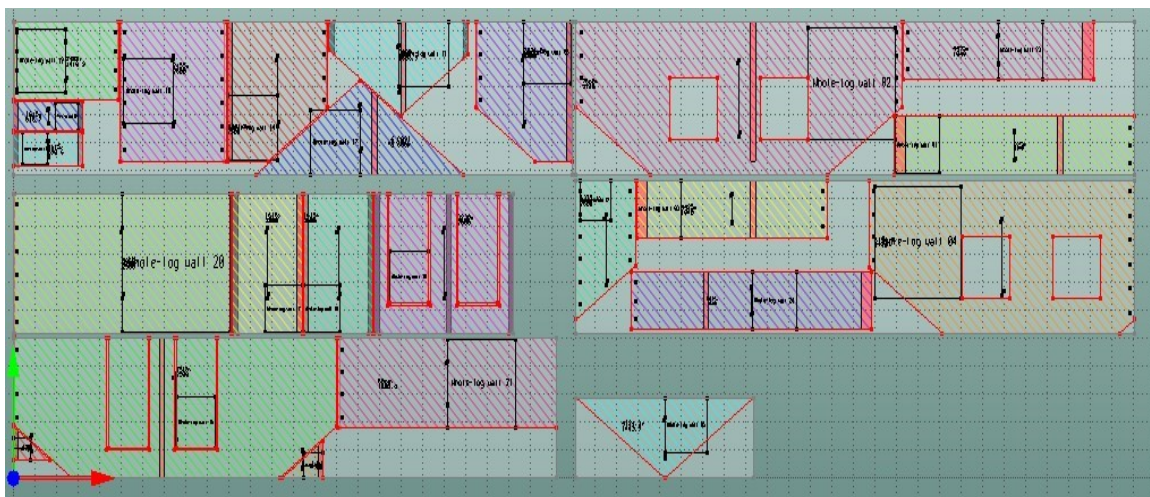
Käytetään tässä tapauksessa esimerkkinä omakotitalon yläkerran seinäelementtejä kuvassa 18. Valitaan kaikki omakotitalon yläkerran CLT-seinäelementit, jotka asetellaan aihiolaatoille, koneistusvarat huomioiden. Aihiolaatat määräytyvät seinäelementtien paksuuksien ja lamellisuuntien mukaan. Kuvissa 19, 20 ja 21 on esitetty tämän toiminnon eri vaiheet.

Kuvassa 19 on esimerkkitalon yläkerran kaikki CLT-elementit tallennettu btl-nesting ominaisuudella. Kaikki elementit ovat rakennuksessa todellisissa sijainneissa ja samalla kaikki elementit ovat tallennettu yhden btl-tiedoston alle. Seuraavana vaiheena asetellaan kaikki elementit aihioille.



KUVA 19. Omakotitalon yläkerran CLT-elementit (desing2machine 2023)

Elementtien sijoittelu aihioalaatoilla määräytyy paksuuden ja lamellisuuntien mukaan. Jos on esimerkiksi 140, 200 ja 240 mm paksuja seinäelementtejä, niin silloin tarvitaan edellä mainitun paksuisia aihioita. Lisäksi elementtien sijoittelussa on myös otettava huomioon syy-/lamellisuunnat. Kuvassa 20 on kaikki kuvan 19 seinäelementit sijoitettuna aihioalaatoille.

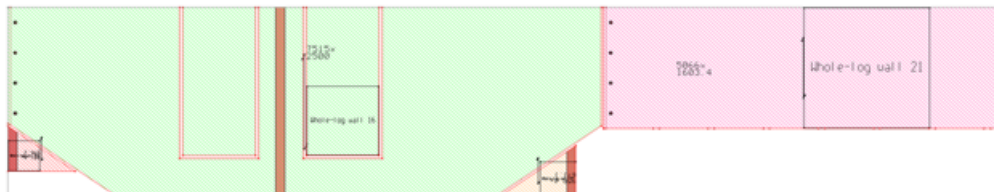


KUVA 20. Seinäelementit sijoitettuna aihioalaatoille (design2machine 2023)

Kun ahiomäärät on saatu selville, niistä voidaan luoda yksi excel-tiedosto. Taulukoimalla ahiomäärät, voidaan tehdä yhteenvetoraporttia tarvittavista raaka-aineista ja määrittää jokaiselle aihioille yksilölliset tunnuksset valmistusta varten. Kuvassa 20 on esitetty nestaus-toiminnon yhteenveto.

Quantity	Material	Width (mm)	Height (mm)	Thickness (mm)	Grain	Cost	Area (meters ²)
1	CLT	12611	2500	115	Undefined	0	31,527
1	CLT	11616	2500	115	Undefined	0	29,04
1	CLT	12970	2739,569	115	Undefined	0	35,532
1	CLT	4124,338	1443,946	250	Undefined	0	5,955
2	CLT	12970	2740	250	Undefined	0	71,076

Yhteenvetotaulukko tarvittavista aihioista.



MP Name	MP Length	MP Width	MP Thickness	MP Material			
MP 01	12611	2500	115				
MP Kerf Top	MP Kerf Bottom	MP Kerf Left	MP Kerf Right				
0	0	0	0				
MP Num Nested Pieces	MP Used area	MP Worked area	MP LeftOver area	MP Scrap area			
4	81,867824	0	18,132176	0			
ITEM Name	Label	ID	Width	Length	Thickness	Material	Kerf
P1	Whole-log wall 07	1676997327_636_1	596	851	115	CLT	0
P2	Whole-log wall 15	1676997327_640_1	671	958	115	CLT	0
P3	Whole-log wall 16	1676997327_670_1	2500	7515	115	CLT	0
P4	Whole-log wall 21	1676997327_681_1	1603	5066	115	CLT	0

Yhden aihiolaatan osaluettelo.

KUVA 21. Nestauksen excel-taulukko (Pennanen 2023)

7 KEHITTÄMISPROJEKTI PUNKAHARJUN PUUTAITO OY

7.1 Tavoite ja ongelma

Tänä päivänä saadaan huolellisella suunnittelulla erittäin laadukkaita tuotantokuvia puurakennusten komponenteista. Rakennus voi esimerkiksi koostua CLT-elementeistä tai olla pilari- ja palkkirunoinen kerrostalo, jossa on CLT-välipohjaelementit. Vaikka kaikista komponenteista pystytään luomaan täydelliset kolmiulotteiset kuvat, niin niiden tallentaminen järkevään siirtotiedostoformaattiin on vielä puutteellista. Suunnittelijoilla ei ole välttämättä riittävää tietoa ja osaamista tallentaa piirustuksia oikeanlaiseen formaattiin. Yksi käytetyimpiä siirtotiedostoformaatteja on dwg-formaatti. Kyseinen formaatti on siinä mielessä hyvä, että se yleisesti käytössä ja toimii kaikissa CAM-ohjelmissa. Ongelmana dwg-formaatissa on se, että jonkin yksittäisen komponentin tunnistetiedot eivät enää siirry CAM-ohjelmaan. Esimerkiksi, jos yhdessä dwg-tiedostossa on yhden kerroksen kaikki seinäelementit, niin elementtien tunnistetiedot eivät aina siirry tallennuksen yhteydessä, eikä kyseisessä formaatissa voida hyödyntää automaattista ohjelmointia. Tämä taas lisää manuaalista ohjelmointia ja tunnisteen luomista, josta on suurempi riski inhimillisille virheille.

Punkaharjun Puutaito on toteuttanut isojen rakennusprojektien puuosien valmistamisen. Esimerkiksi vuonna 2018 alettiin valmistamaan Wood City Supercell konttorirakennuksen puuosia. Kyseisessä projektissa oli käytössä pelkästään dwg-tiedostoformaatti. Kyseisellä formaatilla saatiin kaikkien osien tunnistetiedot myös tallennettua, kun suunnittelija löysi oikeanlaisen tallennusasetuksen CAD-ohjelmastaan. Kun projektin alussa nestattiin kappaleita, ei tuolloin ollut käytössämme nestauslisäosaa, jolloin kaikki nestausosuudet tehtiin manuaalisesti, eikä niille saatu luotua yksilöllisiä aihio-tunnuksia CNC-ohjelmointiin. Lisäksi komponenttien työstöradat tehtiin myös manuaalisesti. Projektin edetessä oli haasteita saada CNC-ohjelmia tehtyä ajallaan tuotantoon, koska kaikki työstöoperaatiot jouduttiin laatimaan manuaalisesti. Joissakin ohjelmissa saattoi olla virheitä, jolloin tuotanto keskeytyi siksi aikaa, kunnes virhe korjattiin. Tästä aiheutui aina tuotantoon katkoksia, mikä taas vähensi kapasiteettia.

Syksyllä 2022 käynnistyi uusi projekti Katajanokan laiturin, johon tarvitaan noin 2000 kappaletta erilaisia puuosia. Ennen tuotannon aloittamista oli selvää, että tarvitaan tehokas menetelmä saada suunnittelusta tiedot tuotannon rajapintaan, joita voidaan hyödyntää automaattisessa CNC-ohjelmoinnissa. Tätä varten on kehitetty btl-formaatti, mutta sitä ei voitu suoraan hyödyntää, koska CAM-ohjelmasta puuttui btl- ja automaattinen ohjelmointi-lisäosa. Näistä lähtökohdista laitetiin tarjouspyyntö Ddx:lle, johon kuului btl-, nestaus- ja automaattinen lisäosa, sekä asennus ja koulutus. Tarjouksen hyväksymisen jälkeen ohjelmaan tehtiin päivitykset lisäosille ja postproessorille, sekä laadittiin työkalukonfiguraatio automatiikalle. Ohjelman päivitykseen meni kolme päivää ja koulutukseen kaksi päivää. Lisäksi projektin alkaessa oltiin useasti yhteydessä Ddx:n tukeen, jotta saatiin varmuus, että automatiikka toimii.

Ennen projektin käynnistymistä, asiakkaamme pystyi tekemään Hsbcad:lla kaikille komponenteille nestauksen ja siirtotiedostotallennuksen btl-formaatin avulla. Koska projekti oli sen verran laaja, niin sovittiin sidosryhmän kanssa, että projekti jaetaan viiteen eri lohkokon A, B, C, D ja E. Jokaiselle lohkolle oli tietyt komponentit, jotka nestattiin lohkokohtaisesti, jolloin aihioita yhdelle lohkolle

muodostui yleensä noin 50 kappaletta. Jokainen aihio sai nestauksen yhteydessä oman tunnistein, joka oli numerotunniste. Numerointi alkoi aina numerosta 1. Jokainen nestattu aihio tallennettiin btl-formaattiin asiakkaan toimesta aina sen numerotunnisteen mukaan. Kun jonkin aihion btl-tiedot vietään CAM-ohjelmaan, niin se tallennetaan CNC:lle samalla numerotiedolla. Asiakas toimitti ahiot omalta tehtaaltaan meille koneistukseen ja jokaisessa aihiossa oli aina sen yksilöllinen tunnistenumero. Näin CNC-operaattorit osasivat yhdistää oikean aihion ja ohjelman tunnistenumeron mukaan.

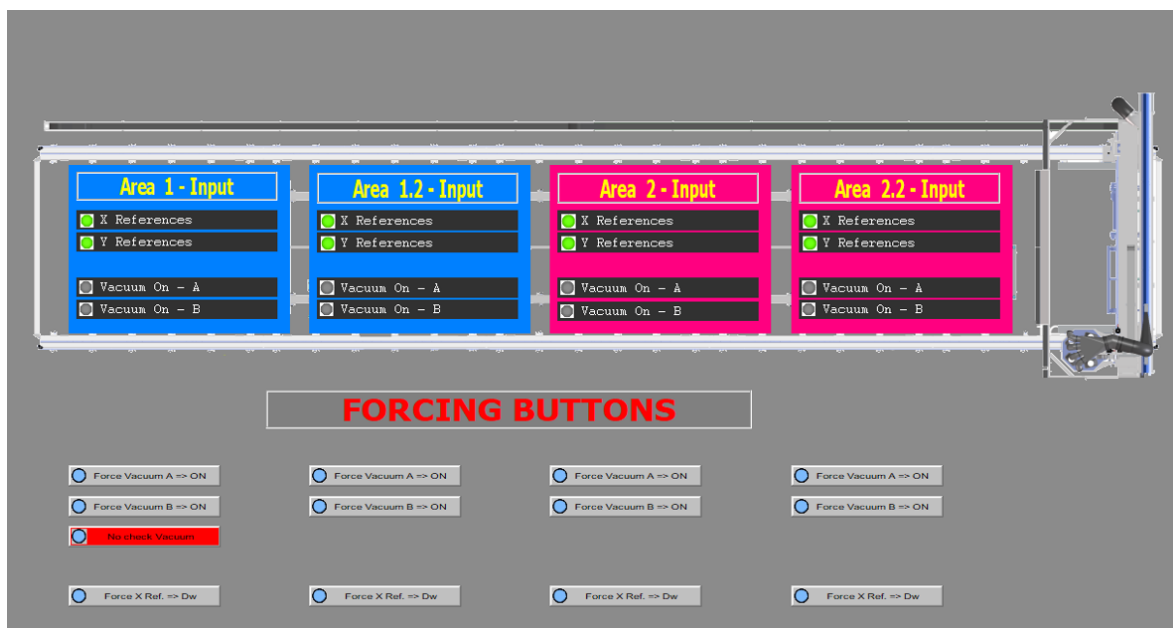
Asiakkaan nestauksista saatiin myös excel-tulosteet, joista saatiin kaikkien komponenttien tiedot vietyä suoraan ERP-järjestelmään. ERP-järjestelmästä pystytään tarkistamaan jokaisen komponentin dimensiot, painot, sijainti rakennuksessa, asennusjärjestys ja pakkaustiedot. Lisäksi sillä voidaan suodattaa tietoja erilaisten ehtojen avulla. Esimerkiksi jos halutaan tietää mitä osia aihionumero 25 sisältää. Tällä tavoin pystyttiin vielä tarkistamaan niin sanotusti kahteen kertaan, että aihio sisältää varmasti sille sijoitetut komponentit.

7.2 Biesse Uniteam CNC-työstökeskuksen ominaisuudet

Punkaharjun Puutaito Oy:llä on käytössä Biesse Uniteam E Mix CNC-kone. Kone on otettu käyttöön uutena vuonna 2018 tammikuussa. Koneessa on kiinteä pöytäalue ja liikkuva portaali, eli työstettävä kappale pysyy paikoillaan ja portaali tekee liikkeitä työstön yhteydessä. Pöytäalue toimii niin, että se voidaan kahteen eri alueeseen, jolloin kone voi työskennellä toisella alueella ja operaattori voi valmistella vapaana olevaa aluetta koneistusta varten. Lisäksi yksi alue voidaan vielä edelleen jakaa kahteen alueeseen, mikäli koneistettavien kappaleiden dimensiot sen sallivat. Jos kappaleen pituusdimensio ylittää yli 17000 mm, niin silloin työstöalue määritetään yhdeksi alueeksi. Tällöin koko alue on suljetun piirin alla, jolloin operaattori ei voi mennä alueelle missään tapauksessa. Suurin työstettävä kappale voi olla kooltaan 33000 (X-suunta) *4000 (Y-suunta) *300 (Z-suunta) mm.

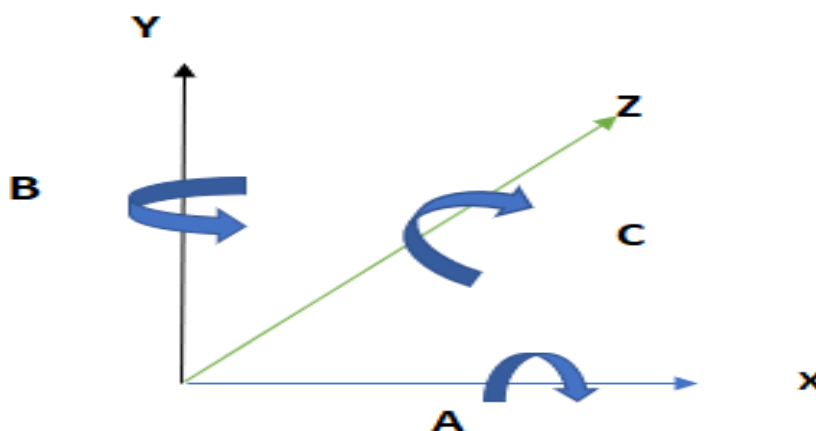


KUVA 22. CNC-työstökeskus koneistamassa lvi-aihiota (Pennanen 2023)

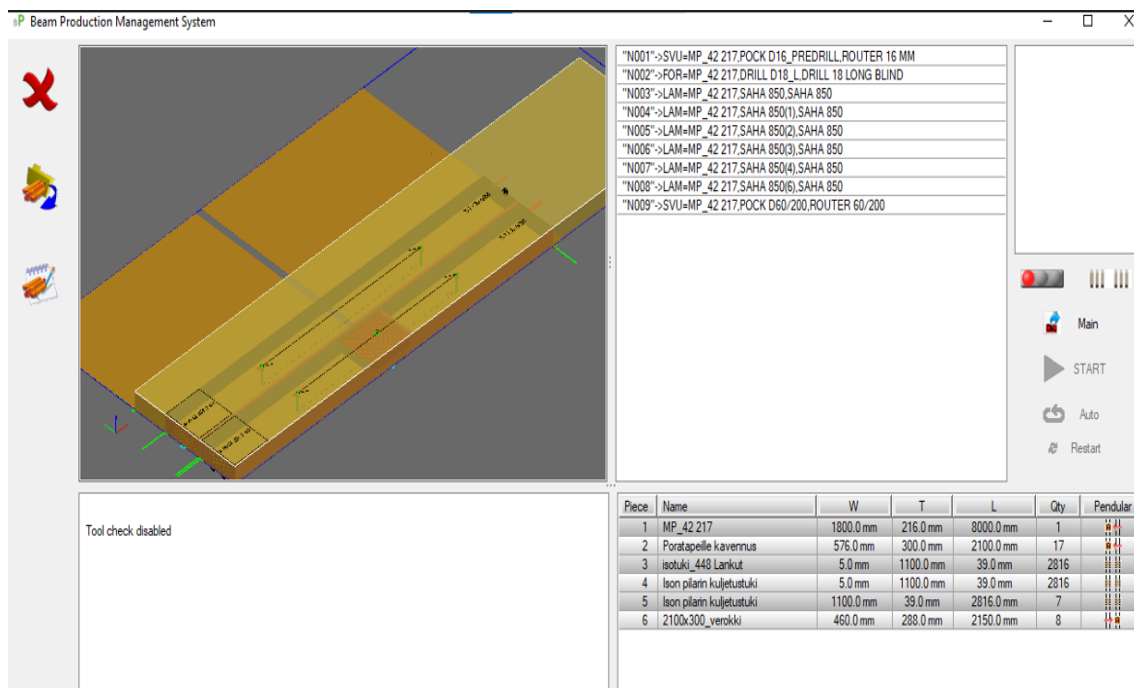


KUVA 23. Työstökeskuksen pöytäalueet (Pennanen 2023)

Koneessa on akseleita yhteensä 5 kpl, X-, Y-, Z-, B-, ja C-akselit, joita voidaan ohjata interpoloivasti. Eli kaikkia akseleita voidaan ohjata yhtä aikaa. Kuvassa 22 on esitetty akselit. X-akselilla on suurin liikevara 34000 mm. Sähkökarana on nestejäähdytetty HSD:n 22 kW:n moottori, jossa käytetään HSK 63 E- työkaluistukkaa. Sen maksimi kierrosnopeus on 18000 rpm. Karaan voidaan myös kytkeä aggregaatteja, kuten esimerkiksi ketjusaha. Erilaisia työkaluja voidaan laittaa enintään 14 kpl. Mekaaniset ovat rivimakaasiineja. Suurin työkalu on halkaisijaltaan 850 mm sirkkeli, jolla voidaan sahata maksimissa 320 mm paksua materiaalia. Työkaluina voi olla sirkkeleitä, kursoja, poria, jyrshintappeja ja muototeriä.



KUVA 24. CNC-koneen akselit (Pennanen 2023)



KUVA 26. Beam Production ohjelma (Pennanen 2023)

7.3 Ddx-ohjelman ominaisuudet

Punkaharjun Puutaito Oy:n käytössä on kaksi Ddx:n Easybeam 6.9i R- lisenssiä, joihin investoitiin marraskuussa 2022 nestaus-, btl- lisäosat sekä automaattinen ohjelmointi. Ohjelmassa on CAD-käyttöympäristö, jossa voidaan piirtää kaksi- tai kolmiulotteisia kappaleita ja muokata valmiita piirustuksia. Yleisimmät piirustuskomennot ovat hyvin paljon samankaltaisia mitä CAD-ohjelmissa.

CAM-ohjelmointiympäristössä kappaleelle voidaan luoda aihio ja samalla voidaan määrittää aihion alle asetekorkeus, mikäli tarvitaan tehdä esimerkiksi syrjäpintoihin koneistuksia. Työstöoperaatiota varten valitaan kappaleen geometria tai pinta, jonka jälkeen valitaan työstöoperaatio. Operaatioksi voidaan valita esimerkiksi sahaus- tai ympäriajokäsky. Kun operaatio on valittu, niin seuraavaksi valitaan työkalu, jolla operaatio suoritetaan. Ennen lopullista työstöoperaation tallennusta, voidaan vielä työstöparametrejä muuttaa manuaalisesti, mikäli esiasetusarvoista halutaan poiketa. CAM-ympäristössä voidaan valita yksittäisen geometrian sijaan useita geometrioita kerralla. Ohjelma myös tunnistaa eri värejä, joten joissakin tapauksissa värien avulla saadaan työstöoperaatioiden luomista nopeutettua. Ohjelmalla voidaan myös luoda kolmiulotteisia työstöoperaatioita, kuten esimerkiksi viinoja tai kaarevia pintoja. Ohjelmoituja työstöoperaatioita voidaan esikatsella, jossa on nähtävillä pelkästään valitun työkalun liikkeitä.

Ohjelmalla voidaan simuloida kappaleen koneistusta työstökeskuksen todellisessa ympäristössä. Ennen simulaation suorittamista, ohjelmoitu kappale asemoidaan työstökeskuksen pöytäalueelle. Yleensä asemointi tehdään pöytäalueen referenssipisteeseen. Tässä vaiheessa voidaan ohjelmoitua kappaletta myös kopioida pöytäalueen toiseen kohtaan, jolloin kaikki ohjelmointitiedot siirtyvät

uudelle paikalle. Simulaatio käynnistetään asemoinnin jälkeen, jolloin ohjelma suorittaa törmäystarkastelut ja tekee niistä ilmoituksen käyttäjälle, jos sellainen havaitaan. Simulaation jälkeen ohjelma ilmoittaa kokonaistyöstöajan, jonka avulla voidaan laskea työstöstä aiheutuvia kustannuksia. Liitteessä 2 on esitetty Easybeam-ohjelman päätoiminnot.

7.4 Btl-lisäosan asentaminen

Btl-lisäosan investoinnista tehtiin päätös marraskuussa 2022 ja ohjelman päivitys alkoi kaksi viikkoa tilauksesta. Ennen ohjelmiston lisäosien asentamista, täytyi ensiksi lähettää käytössä oleva postprosessori ja kaikki tallennetut työkalutiedot. Työkalutietojen ja postprosessorin perusteella Ddx laati ohjelmaan konfiguraatiomallin, jota käytetään automaattisessa ohjelmoinnissa. Ddx teki ohjelmistopäivityksen Teamviewer-sovelluksen kautta. Kyseinen sovellus toimii etäyhteysohjelmistolla, jolla voidaan ottaa yhteys ja hallinta toiseen tietokoneeseen. Aikaa kaikkien lisäosien asentamiseen meni noin yksi työpäivä. Seuraavana vaiheena oli testata eri lisäosien toimivuutta ja tarkistaa, ettei niissä ollut virheitä. Ensimmäisenä aloitettiin testaamaan btl-ominaisuuksia ja automaattiohjelmointia. Aluksi täytyi työkalukonfiguraatiota säätää, jotta työstöoperaatiot saatiin toimimaan halutuilla työkaluilla

7.4.1 Btl- ominaisuuksien koulutus

Varsinainen koulutus kesti noin kaksi päivää ja käyttöönoton jälkeen oli vielä muutamia etäyhteyspöytäkoneita Ddx-edustajan kanssa ongelmatilanteissa. Koulutus tapahtui etäyhteydellä, jossa aluksi käytiin läpi kaikki btl-ominaisuudet. Ohjelmointi suoritettiin aluksi muutamalla malliesimerkkitiedostolla, jotta opittiin käyttämään eri toimintoja ohjelmoinnin suorittamiseen. Tämän jälkeen käytettiin asiakkaan lähettämää btl-tiedostoja ohjelmoinnissa ja samalla varmistettiin Ddx-edustajan kanssa, ettei kyseisissä tiedostoissa ollut virheitä. Seuraavaksi suoritettiin ohjelmointi vaihe vaiheelta ja suoritettiin simulaatio, jonka avulla vielä varmistuttiin, että kappaleet ovat oikeanlaiset.

7.4.2 Btl -tiedoston työstöjen ohjelmointi ja simulointi Ddx-ohjelmalla

Ensiksi tuodaan haluttu btl-tiedosto Ddx-ohjelmaan. Kaikki komponentit, jotka ovat tallennettu btl-tiedostoon, on listattuna allekkain. Tässä vaiheessa voidaan tarkastella jokaisen komponentin tunnistetietoja, dimensioita ja niihin tulevia työstöjä. Mikäli jotakin komponenttia halutaan kääntää, niin se on myös mahdollista. Seuraavaksi siirrytään ohjelmassa nestaus-käyttöympäristöön ja suoritetaan komponenttien nestaaminen. Ennen siirtymistä ohjelmointipuolelle tarkistetaan vielä, että komponenteilla on riittävät koneistusvarat ja reunaetäisyydet. Tämän jälkeen voidaan suorittaa automaattinen ohjelmointi, jossa jokaiselle komponentille muodostuu työstöoperaatiot niiden tietojen perusteella, mitä suunnittelija on komponenteille luonut. Työstöoperaatioita voidaan vielä manuaalisesti muokata tai niiden järjestyksiä muuttaa. Etenkin työstöjärjestyksiä tulee ohjelmoijan tarkastella, jotta ne ovat mahdollisimman optimaaliset ajan säästämiseksi. Joissakin tapauksissa komponentin kaikki työstöjä ei pystytä yhdellä kertaa suorittamaan, mikäli työstön sijainti on esimerkiksi komponentin alapuolella. Tällaiset tapaukset tulee myös huomioida automaattisen ohjelmoinnin aikana. Kun komponenttien ohjelmointi on hyväksytty, asetellaan aihio CNC-koneen pöytäalueelle. Yleensä aihio asetellaan aina alueen referenssipisteeseen. Tämän jälkeen voidaan suorittaa simulointi kaikista koneistuksen vaiheista. Jos simuloinnin aikana ei ole tullut ilmoituksia törmäyksistä, voidaan

suorittaa ISO-koodin tallennus CNC-koneelle. Mikäli jokin työstöoperaatio antaa törmäysvaroituksen, tulee tällöin siirtyä takaisin ohjelmointipuolelle ja muokata kyseistä operaatiota, sekä suorittaa uudelleen simulointi.

Ohjelmoinnin ja simulaation vaiheet ovat esitetty liitteessä 3, joka on laadittu ohjelmoijan käyttöön.

7.4.3 Btl-formaatin käyttöönotto tuotannossa

Varsinaiseen CNC-koneeseen ei tarvinnut tehdä ohjelmapäivityksiä, koska CNC-koneessa oleva Beam Production ohjelma pystyi avaamaan btl-tiedostojen pohjalta tehtyjä ohjelmia. Käyttöönoton aikana tehtiin mahdollisimman yksinkertainen ohjelma CNC-koneelle, jonka pohjalta tarkistettiin, että kaikki komponentit olivat koneistettu oikein ja ne olivat vaadituissa toleransseissa. Työstöohjelmat tallennettiin aina aihion tunnusnumerolla, jolloin CNC-operaattori osasi yhdistää oikean ohjelman oikealle aihiolle. Pääsääntöisesti aihiot ovat dimensioiltaan erilaiset, jolloin ne tulee yksilöidä tunnistenumeroilla. Kaikkiin aihioihin saatiin tunnukset nestautustietojen kautta ja tunnukset merkittiin jokaiseen aihioon LVL-tehtaalla.

7.4.4 Btl:n vaikutukset ohjelmoinnissa ja tuotannossa

Btl-formaatilla saadaan selkeästi tehokkuutta, niin CAM-ohjelmointiin kuin tuotantoon. Aiemmin ohjelmointi täytyi suorittaa manuaalisesti, jolloin halutut geometriat tai pinnat valittiin manuaalisesti, joihin tehtiin työstöoperaatiot. Mikäli komponentit ovat monimutkaisia tai niissä on paljon koneistettavia kohtia, niin se vaatii ohjelmoijalta paljon aikaa ja resursseja, jotta koneistaminen onnistuu. Mikäli koneistuksen aikana huomataan, että jostakin komponentista puuttuu jokin työstö, niin silloin tuotanto pysähtyy ja samalla ohjelmoijan on palattava korjaamaan alkuperäistä ohjelmaa. Tästä aiheutuu ylimääräisiä kustannuksia niin tuotannossa, kuin ohjelmoinnissa.

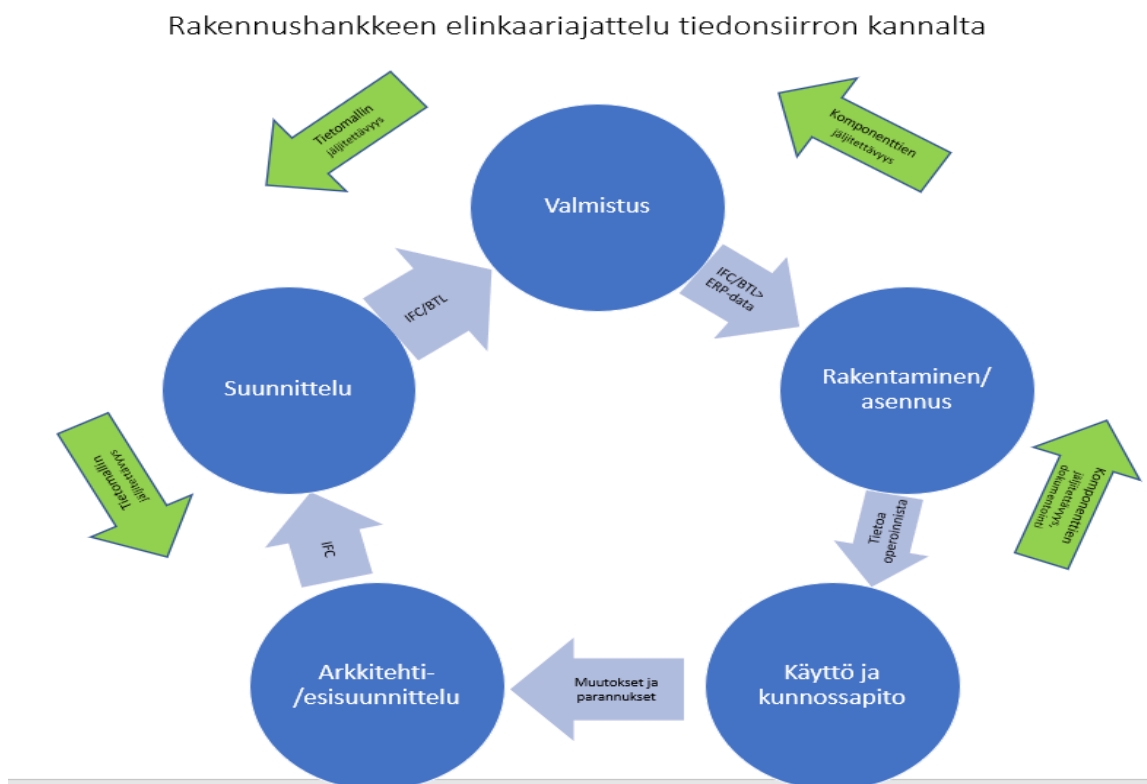
Btl-formaatin avulla ei ohjelmoijan tarvitse enää miettiä ja manuaalisesti valita komponenttien työstögeometrioita, koska työstötiedot on jo määritelty suunnitteluvaiheessa ja CAM-ohjelma osaa analysoida työstöt btl:n kautta ja suorittaa kaikki työstöoperaatiot automaattisesti. Ainoa asia mikä ohjelmoijan pitää tarkistaa, on työstöoperaatioiden optimaalinen järjestys ja jääkö joitain työstöoperaatioita pois, sekä ohjelman simuloiminen. Automaattisen ohjelmoinnin avulla varsinainen ohjelmointityö selkeästi helpottui ja muuttui tehokkaammaksi, sekä ohjelmointivirheet lähes hävisivät. Tästä oli selkeä syy-yhteys myös varsinaiseen tuotantoon. Kun ohjelmointivirheitä ei enää ollut ja kaikki koneistettavat komponentit saatiin kerralla työstettyä oikein, saatiin CNC-koneen käyntiaikaa tehostettua. Kun CNC-koneen tuotantoa saatiin tehostettua, myös koneistuksen laatua saatiin parannettua, koska kaikki vaaditut työstöt saatiin koneistettua mittatarkasti.

8 PUURAKENTEIDEN SUUNNITTELUSSA HUOMIOITAVIA ASIOITA

8.1 Siirtotiedoston vaatimukset

Rakennuskohteen kolmiulotteinen tietomalli on yleisesti tallennettu ifc-formaattiin. Kyseinen formaatti on siinä mielessä hyvä, että tiedostoa voidaan tarkastella ilmaisilla katseluohjelmilla. Katseluohjelmilla voidaan tarkastella detaljeja ja yksittäisiä komponentteja, joten ifc-tietomalli on hyvä siirtotiedosto mallin tarkistamiseen. Tuotannon näkökulmasta ei ifc-formaatin kautta saada CNC-työstökeskuksille koneistus- ja tunnistetietoja automaattisesti, jolloin kaikkien komponenttien vaatimat koneistukset ja tunnistet joudutaan ohjelmoimaan manuaalisesti. Jotta välttyttäisiin turhalta manuaalisilta toimenpiteiltä, tulee käyttää ifc-formaatin lisäksi btl-formaattia siirtotiedostona. Ennen rakennushankkeen suunnittelun aloittamista, on suunnittelun varmistettava, että käytössä olevalla CAD-ohjelmalla voidaan tallentaa btl-formaattia. Lisäksi olisi tärkeää testata siirtotiedoston toimivuutta suunnittelun ja tuotannon välillä, jotta varmistetaan että kaikki tieto siirtyy btl-formaatin kautta, ennen suunnittelun varsinaista aloittamista.

Komponenttien tunnistella on tärkeä rooli hankkeiden toteuttamisen kannalta. Hankkeen sidosryhmällä pitää olla yhtenäinen käytäntö tunnistesta, jotta välttytään väärinkäsityksiltä. Kun kaikilla osapuolilla on samat tiedot käytössä, pystytään sujuvasti kommunikoimaan tietystä aiheesta. Toinen tärkeä rooli tunnistella on komponenttien jäljitettävyys ja laadunvarmennus. Kun tunnistetiedot saadaan siirtotiedostojen avulla suunnittelusta valmistuksen ERP-järjestelmään, voidaan samalla luoda käytäntö jäljitettävyydelle. Kaikki valmistetut komponentit pitää pystyä jäljittämään aina työmaalta tehtaan alkupäähän, mukaan lukien kaikki työvaiheet.

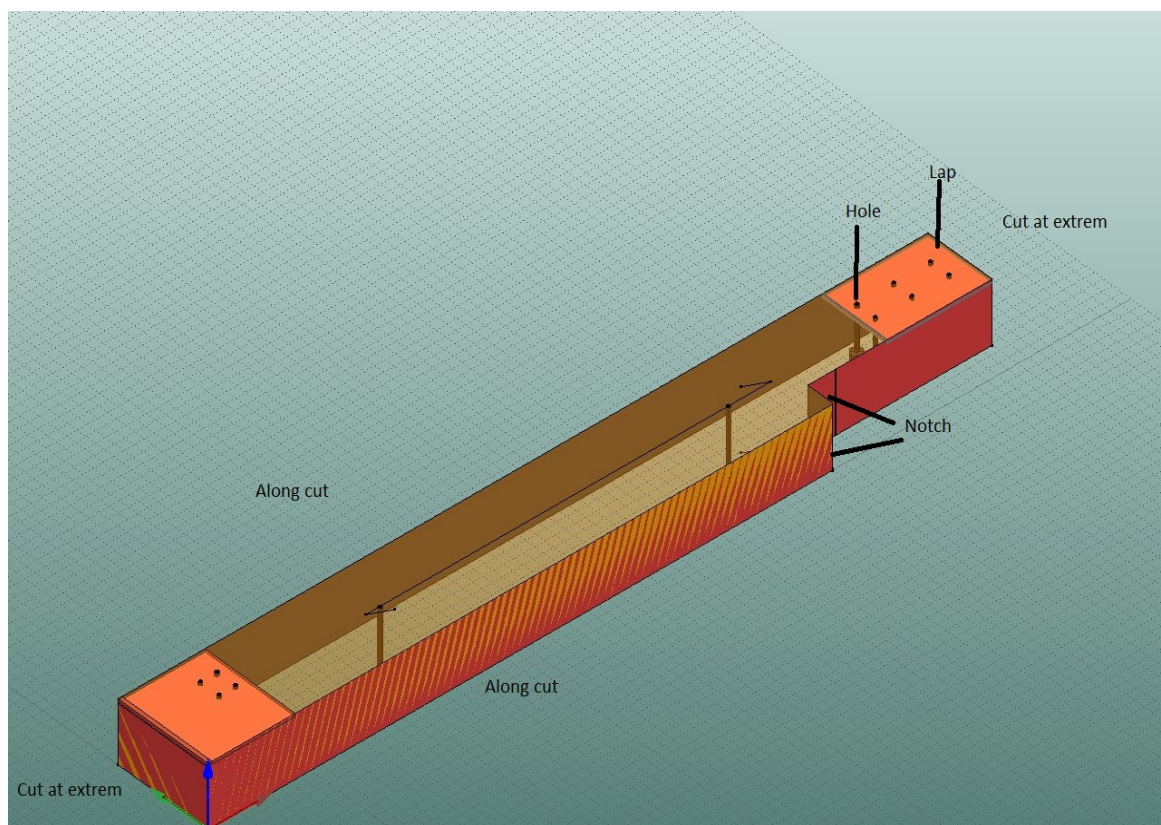


KUVA 27. Tiedonsiirron elinkaariajattelumalli (Pennanen 2023)

8.2 Btl-omaisuuksien tallentaminen

Kun komponentin kolmiulotteinen malli on saatu luotua, niin sitä ei vielä voida suoraan hyödyntää NC-rajapinnassa, koska mallista puuttuvat työstöominaisuudet. Työstöominaisuudet määräytyvät sen mukaan, mitä komponenttiin on suunniteltu tehtäväksi. Esimerkiksi komponentille on luotavat kaikille äärireunoille sahausominaisuudet Along cut- ja Cut at extrem- ominaisuuksilla, jolloin CAM-ohjelma osaa koneistaa kaikki reunat sahausoperaatiolla. Jos komponentissa on reikiä ja huuloksia, tulee ne luoda työstöominaisuuksiksi komennoilla Hole ja Lap. Työstöominaisuuksien nimikkeet saattavat olla erilaiset eri CAD-ohjelmien välillä. Kun kaikki työstöt on luotu, voidaan se sen jälkeen tallentaa btl- formaattiin. Kun btl-tiedosto tuodaan CAM-ohjelmaan, ohjelma analysoi komponenttiin luodut työstöominaisuudet ja osaa niiden tietojen perusteella luoda automaattisesti työstöoperaatiot ja tallentaa ISO-koodi CNC-koneelle.

Seuraavassa esimerkissä tarkastellaan btl-ominaisuuksien luomista komponentille. Esimerkitapauksen komponentissa on olake, reikiä, huuloksia ja nurkkatyöstö.



KUVA 28 Komponentille luotavat työstöominaisuudet (Pennanen 2023)

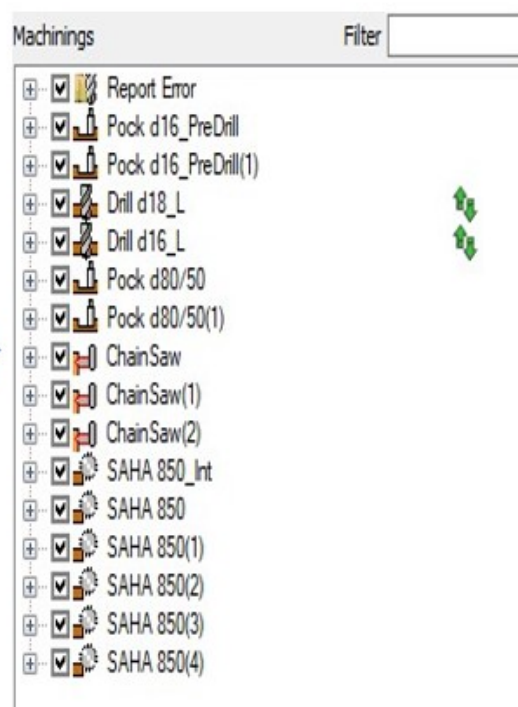
Kun komponentti on saatu mallinnettua valmiiksi, jonka jälkeen määritetään tarvittavat työstöominaisuudet. Tässä tapauksessa komponentti koneistetaan isommasta aihioista, jolloin ensiksi määritetään sahausominaisuudet. Komponentin pitkien sivujen sahaus on luotu Along cut-ominaisuudella ja päädyt sekä viisteet ovat luotu Cut at extrem-ominaisuudella. Kaikki reiät luodaan Hole-ominaisuudella ja huulokset Lap-ominaisuudella. Komponentin olake luodaan kahdella työstöominaisuudella, jotka ovat Lap ja Notch. Tämä johtuu siitä, että olake tehdään kahdella työstöoperaatiolla, tässä tapauksessa sahaus- ja ketjusahausoperaatioilla. Kun työstöominaisuuksia luodaan, voi

samaan aikaan olla useita komponenttia, esimerkiksi kokoonpanon tai kerroksen mukaan. Lopuksi tallennetaan komponentti tai komponentit btl-formaattiin, jolloin voidaan suorittaa CAM-ohjelmalla automaattinen ohjelmointi. Kuvassa 29 on esimerkkikomponentin työstöominaisuudet ja niiden pohjalta luodut työstöoperaatiot.

CAM-ohjelman analysoimat työstöominaisuudet:

Feature	Type	FSMC
Outline	Outline	B-AA
AnalysedCut1	Cut at extrem	FLAA
AnalysedCut2	Cut at extrem	FLAA
AnalysedCut3	Along cut	TLAA
AnalysedCut4	Along cut	BLAA
AnalysedDrill5	Hole	TLAA
AnalysedDrill6	Hole	TLAA
AnalysedDrill7	Hole	TLAA
AnalysedDrill8	Hole	TLAA
AnalysedDrill9	Hole	BLXA
AnalysedBeamCut10	Lap	TRAA
AnalysedDrill11	Hole	TLAA
AnalysedDrill12	Hole	TLAA
AnalysedBeamCut13	Lap	FLAA
AnalysedBeamCut14	Notch	FLAA
AnalysedBeamCut15	Lap	TLAA
AnalysedDrill16	Hole	BLXA
AnalysedDrill17	Hole	TLAA
AnalysedDrill18	Hole	TLAA
AnalysedDrill19	Hole	TLAA
AnalysedDrill20	Hole	TLAA
AnalysedDrill21	Hole	TLAA
AnalysedDrill22	Hole	TLAA
AnalysedCut23	Cut at extrem	RRAA

Työstöominaisuuksien perusteella automaattisesti ohjelmoidut työstöoperaatiot:



KUVA 29. CAM-ohjelman työstöanalyysi ja automaattinen ohjelmointi (Pennanen 2023)

8.3 Suunnittelussa huomioitavia asioita valmistamisen näkökulmasta

Ennen varsinaisen suunnittelun aloittamista, tulee suunnittelijalla olla tiedot CNC-työstökeskuksen rajoitteista ja käytössä olevista työkaluista. Yksi rajoittava tekijä työstökeskuksissa on työstettävän materiaalin paksuus, jolloin yksi suunnittelun lähtökohta on materiaalipaksuuksien huomioiminen. Komponentin äärimitat tulevat harvemmin rajoitteiksi, koska työstökeskuksissa on useimmiten riittävän isot työalueet. Työkaluista tulevat rajoitteet on otettava suunnittelussa huomioon, jotta vältetään sellaisilta työstöiltä, joita työstökeskuksella ei voida toteuttaa. Esimerkiksi komponentin syrjään tehtävä ura ei voi olla syvyydeltään sellainen, jota käytössä olevilla työkaluilla ei voida toteuttaa. Mikäli komponentin molemmille puolille joudutaan tekemään koneistuksia, niin siinä tapauksessa alapuolen työstöt tehdään toisessa vaiheessa, kun kappale on käännetty ympäri. Tällöin on suunnittelijan huomioida riittävät toleranssit toisen vaiheen työstöille, koska kappaleen uudelleen paikoittaminen aiheuttaa epätarkkuutta koneistukseen. Liitteessä 4 on selostettu työstöparametreista.

Suunnitteluprosessin alkaessa, tulisi olla myös tieto komponenttien asennusjärjestyksestä työmaalla. Asennusjärjestystä voidaan käyttää yhtenä parametrina nestauksessa, jolloin komponentteja pystytään valmistamaan asennusjärjestys huomioiden. Esimerkiksi valmistetaan ensiksi kaikki

ensimmäisen kerroksen komponentit ja seuraavina vaiheina loppujen kerrosten komponentit. Asennusjärjestystietoa voidaan hyödyntää komponenttien lopullista paketointia ajatellen ja miten ne lastataan rekkoihin. Joissain tapauksissa työmaalla joudutaan komponentit asentamaan paikoilleen suoraan rekasta, jolloin lastausjärjestyksen toteuttaminen asennusjärjestyksen mukaan on erittäin tärkeää.

8.3.1 Poraukset

Komponentteihin voidaan koneistaa reikiä, esimerkiksi vaarnatapeille ja kierretangoille. Reikiä pystytään yleensä poraamaan yhtä syvään, mikä on materiaalin maksimipaksuus, jota koneistuskeskuksella voidaan koneistaa. Jos materiaalin maksimipaksuus on 300 mm, niin sen syvempään ei yleensä pystytä poraamaan. Koneistuskeskuksilla voidaan myös porata reikiä eri kulmissa ja komponentin syrjäpintoihin.

8.3.2 Huulokset

Huuloksia koneistetaan yleensä komponenttien syrjäpintoihin. Jos kaksi CLT-elementtiä halutaan liittää toisiinsa, voidaan niiden välinen liitos toteuttaa esimerkiksi puoliponttiliitoksella. Lisäksi voidaan koneistaa huulokset alaohjaspuita varten. Huulokset yleensä koneistetaan sahaamalla, jyrsimillä tai kursoilla, jolloin huuloksen maksimisyvyys määräytyy aina käytettävän työkalun mukaan.

8.3.3 Aukotukset

Erlaisia aukotuksia ikkunoille, oville ja läpiviennille voidaan toteuttaa koneistamalla ja sahaamalla. Ikkuna- ja oviaukot yleensä sahataan ja nurkat avataan tappijyrsimellä tai ketjusahalla. Mikäli nurkka-alueet työstetään tappijyrsimellä, niin siinä tapauksessa nurkkaan jää aina tappijyrsimen säteen suuruinen pyöritys. Mikäli pyörityksiä ei sallita, on ne merkittävä selkeästi valmistuskuviin. Joissakin tapauksissa voidaan ikkuna- ja oviaukkojen jätepalat jättää elementtiin vielä osittain kiinni, jolloin lopullinen irrotus tapahtuu työmaalla. Läpivientiaukot koneistetaan aina tappijyrsinterillä.

8.3.4 Sahaukset

Komponentit yleensä mitallisestaan sahaamalla haluttuun dimensioon. Sahaamalla voidaan myös toteuttaa vinoja pintoja. Esimerkiksi kahden komponentin välinen jiiiriliitos voidaan toteuttaa sahaamalla.

8.3.5 Taskut ja erikoistyöt

Erlaisia taskuja esimerkiksi sähkörasioille ja johdotuksille voidaan toteuttaa tappijyrsimillä hyvin monipuolisesti. Elementin lapepintoja voidaan plaanata tai niihin voidaan tehdä tarvittaessa kaatoja. Lisäksi voidaan tehdä kolmiulotteista struktuuripintaa erikoisteriä käyttämällä.

8.4 Teollisten puutuotteiden dimensiot

Suunnittelijalla olisi hyvä olla tiedossa eri materiaalien maksimidimensiot suunnittelua ajatellen, jotta suunnittelun alkuvaiheessa ei suunnitella liian suuria komponentteja, joiden valmistaminen ei ole mahdollista. Lisäksi suunnitteluvaiheessa on hyvä ottaa huomioon myös logistiikan vaatimukset, jotta komponenttien kuljettaminen on mahdollista. Kun valitun materiaalin tehdasdimensiot ovat

tiedossa, voidaan komponenttien suunnittelulla ottaa huomioon lopulliset dimensiot. Tällä tavoin voidaan vaikuttaa raaka-aineen käyttöasteeseen jo suunnitteluvaiheessa.

Suomessa valmistettavien CLT-levyjen maksimileveydet ovat 3,2–3,5 m ja pituudet 12–16 m. Paksuudet vaihtelevat 60–360 mm välillä. CLT-levyrakenteita on kaksi, C- ja L-levyrakennetta. C-levyrakenteessa pintalamellien suunta on lyhyen sivun suuntainen ja L-levyrakenteessa pintalamelli on pitkän sivun suuntainen. L-levyrakenteisen ahiolaatan leveys määräytyy käytettävän pintalamellilaudan leveyden mukaan. Yleensä käytettävän pintalamellilaudan leveys on 120 mm (Oy Crosslam Kuhmo) (Hoisko CLT, 2018) (CLT Plant, 2020).

LVL-tuotteiden vakiopaksuudet vaihtelevat 24–75 mm välillä. Maksimileveydet ovat 1820 mm ja 2420–2500 mm, riippuen valmistajasta. Maksimipituus on 25 metriä. Kerrannaisliimattujen LVL G-tuotteiden paksuudet vaihtelevat 84–600 mm välillä. Suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon, mitkä ovat työstökeskuksen rajoitteet paksuuden suhteen. Mikäli lopullisen komponentin paksuusdimensio ylittää koneistuskeskuksen kapasiteetin, niin tällöin on syytä suunnitella komponentti kahdesta eri osasta, jotka rakenne liimataan toisiinsa koneistuksen jälkeen (LVL Handbook, 2020) (Stora Enso).

9 POHDINTA

Suomi on sitoutunut vähentämään kasvihuonepäästöjä ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi kansainvälisten sopimusten kautta. Jotta ilmastotavoitteet saavutetaan, on myös rakentamisesta aiheutuvat päästöt saatava laskuun. Suomen valtio on asettanut tavoitteeksi vuodelle 2025, että julkisen puurakentamisen osuus on 45 %. Jotta tuohon tavoitteeseen päästään, on teollisen puurakentamisen tuotantoratkaisut oltava tehokkaita ja pitkälle automatisoituja. Ainoastaan tuotantotehokkuudella ja automatisoinnilla voidaan saada kustannustehokkuutta teollisen puurakentamisen tuotteisiin ja ratkaisuihin.

Olen yli kaksitoista vuotta tehnyt CNC-ohjelmia ja ollut osallisena useissa eri puurakentamisen hankkeissa. Ennen tätä opinnäytetyön tekemistä, haasteena on aina ollut siirtotiedostojen ongelmat suunnittelusta valmistukseen. Tähän mennessä yleisin tiedostoformaatti on ollut 3D-dwg, jota on käytetty projektien läpi viemiseen. Kyseisen formaatin haasteena on ollut lähes jokaisessa projektissa tunnistetietojen puutteellinen siirtyminen dwg-formaatin kautta valmistukseen. Lisäksi kaikki ohjelmointityö on pitänyt tehdä manuaalisesti, sekä joissakin tapauksissa on jouduttu piirtämään geometrioita uudelleen, mikä taas on aiheuttanut inhimillisten virheiden määrää valmistuksessa. Itse ohjelmointityö sitoo valtavasti resursseja, mikäli kaikki työstöoperaatiot on tehtävä manuaalisesti. Tämän takia automaation hyödyntäminen ohjelmoinnissa on tärkeää, jotta saadaan virheet poistettua ja kasvatettua tuotanto- ja kustannustehokkuutta.

Kun aloitin tekemään tätä opinnäytetyötä, alkoi samaan aikaan ison rakennushankkeen puuosien valmistaminen. Osia täytyi valmistaa yli 1800 kpl, joten oli selvää, että siirtotiedostoformaatin on oltava kunnossa suunnittelun ja valmistuksen välillä. Siirtotiedostoformaattiksi valittiin btl-formaatti, koska asiakkaamme pystyi tallentamaan sitä ja käytössämme oleva ohjelma ja CNC-kone tukevat kyseistä formaattia. Näin ollen päivitettiin käytössämme oleva CAM-ohjelma Ddx Easybeam, jolloin btl-formaatin ja automaattisen ohjelmoinnin ominaisuudet saatiin käyttöön. Tällä tavoin pystyttiin automatisoimaan CAM-ohjelmointi, jolloin työstövirheiden määrä saatiin poistettua lähes kokonaan. Lisäksi saatiin nostettua työstökeskuksen työstökapasiteettia, koska ohjelmointivirheistä ei enää aiheutunut tuotannollisia katkoksia. Näin ollen koko projektin läpimenoaika saatiin lyhennettyä alkuperäisestä tavoitteesta noin kolmella kuukaudella.

Suomessa ei ole tällä hetkellä suunnittelijoilla riittävästi tietoa btl-tiedostoformaattista, jolla voi suunnittelutiedon viedä automaattisesti valmistukseen btl-rajapinnan kautta. Toinen ongelma on, että CAD-ohjelmiin ei ole investoitu btl-lisäosaa, koska osa ohjelmistoista ei vielä pysty ominaisuutta tarjoamaan käyttäjille. Lisäksi oppilaitoksissa ei opeteta tämän formaatin ominaisuuksia, koska CAD-ohjelmien opiskelijaversioissa ei ole btl-tallennusmahdollisuutta, eikä opettajilla ole aiheesta riittävästi tietämystä. Tänä päivänä olisi syytä perustaa yhteistyöryhmiä korkeakoulujen, yritysten ja ohjelmistovalmistajien välillä, jotta siirtotiedostoformaattia voitaisiin kehittää ja testata oikeissa työympäristöissä.

Tätä opinnäytetyötä tehdessäni, oli yllättävää, ettei siirtotiedostoformaateista ole paljoa tietoa saatavilla ja useat CAD-ohjelmistot ovat vasta nyt alkaneet asiaa kehittämään. Isoilla suunnittelutoimistoilla ei ole valmiuksia tallentaa btl-formaattia, koska ohjelmistolisensseihin ei ole investoitu btl-

tallennus lisäosaa ja suunnittelijoilla ei ole tietämystä aiheesta. Tämä johtuu siitä, ettei formaattia ole aiemmin vaadittu ja kyseisen formaatin käyttöä ei tänä päivänä opeteta suunnittelijoille. Siirtotiedostoformaatin käytöstä olisi hyvä olla oma kurssi oppilaitoksissa. Teollisen puurakentamisen insinöörikoulutuksessa pitäisi olla myös aiheena CNC-tekniikka, jotta ymmärretään, miten CNC-tekniikka voidaan hyödyntää puurakentamisessa. Tällä tavoin saataisiin uusia osaajia puurakentamisen suunnitteluun ja valmistamiseen riittävillä lähtötiedoilla.

Siirtotiedostojen vaatimuksia, pitäisi aina käsitellä hyvissä ajoin uusien rakennusprojektien alkaessa, jotta suunnittelijalla on oikeanlaiset työkalut ja riittävä osaaminen tallentaa btl-formaattia. On tärkeää, että suunnitteluprosessin alkuvaiheessa määritetään ja ennen kaikkea testataan btl siirtotiedostoformaattia. Mikäli havaitaan puutteita btl-formaatin tallentamisessa hyvissä ajoin, voidaan ongelmat ratkaista ohjelmiston edustajien avulla ja suorittaa lisätestejä formaatin toimivuudesta. Valitettavasti vielä tänä päivänä, kun uusia rakennusprojekteja aloitetaan, niin näihin asioihin ei osata kiinnittää riittävästi huomiota. Tulevaisuudessa tulisi kehittää yhteistyöverkostoja ohjelmistofirmojen, suunnittelutoimistojen, koulutuslaitosten ja rakennusteollisuuden välillä. Tällä tavoin saataisiin ai-
hetta kehitettyä eteenpäin ja samalla kaikkien osapuolten osaaminen, tehokkuus ja kilpailukyky paranee.

LÄHTEET

Syntyvän lähdeluettelon ulkoasuksi valitaan tyyli luettelosta Lähteet-tyyli. Alla olevat ovat esimerkkejä, jotka tulee poistaa omasta raportista.

Laamanen, Ari 2015. Yksityiskohta Rooman Colosseumista. Valokuva, kuvauspäivä tuntematon. Kuopio: Ari Laamasen kokoelmat.

Likitalo, Heikki ja Mäkelä, Pentti 2012. Opinnäyteprosessikysely. Sijainti: Liiketalouden yksikkö. Kuopio: Savonia-ammattikor

ArchiFrame Oy. <https://archiframe.fi>. [Online] [Viitattu: 4. 2 2023.]

Cadwork. 2020. <https://en.cadwork.com/>. [Online] 2020.

Hsbcad. <https://www.hsbcad.com>. [Online]

Liimapuukäsikirja. 2014. *Liimapuukäsikirja osa 1, 13.* s.l. : Suomen Liimapuuyhdistys ry ja Puuinfo Oy, 2014. s. 13. Osa/vuosik. 1.

Liimapuuyhdistys. 2018. www.liimapuu.fi. [Online] 2018.

LVL Handbook. 2020. *LVL, Handbook.* s.l. : Puutuoteteollisuus, 2020.

Metsägroup. 2017. www.metsagroup.com. [Online] Tammikuu 2017.

Puuinfo Oy. 2020. www.puuinfo.fi. [Online] 23. 6 2020. [Viitattu: 23. 6 2020.]

Sitowise Group. <https://www.sitowise.com/fi/digitaaliset-palvelut/teknologiat/tietomallinnus-bim>. [Online] Sitowise Group.

Stora Enso. www.storaenso.com. [Online]

Tekla. <https://support.tekla.com>. [Online] Trimble.

Vertex System. www.vertex.fi. [Online]

Vesämäki, Hannu. 2014. *Lastuavan työstön NC-ohjelmointi.* 4. uudistettu painos. Helsinki : Teknologiateollisuus ry, 2014. ss. 8-13.

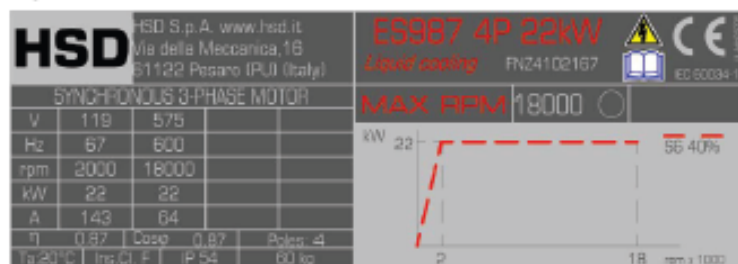
Zhuming Bi, Xiaoqin Wang, [toim.]. 2020. *Computer Aided Design and Manufacturing.* s.l. : John Wiley & Sons, Incorporate, 2020.

LIITE 1: HSD JYRSINMOOTTORIN VÄÄNTÖALUEKÄYRÄ KIERROSNOPEUDEN SUHTEEN

3 Specifiche tecniche e parti principali

Scheda tecnica ES987 con motore sincro 22 kW 4 poli

Targa motore



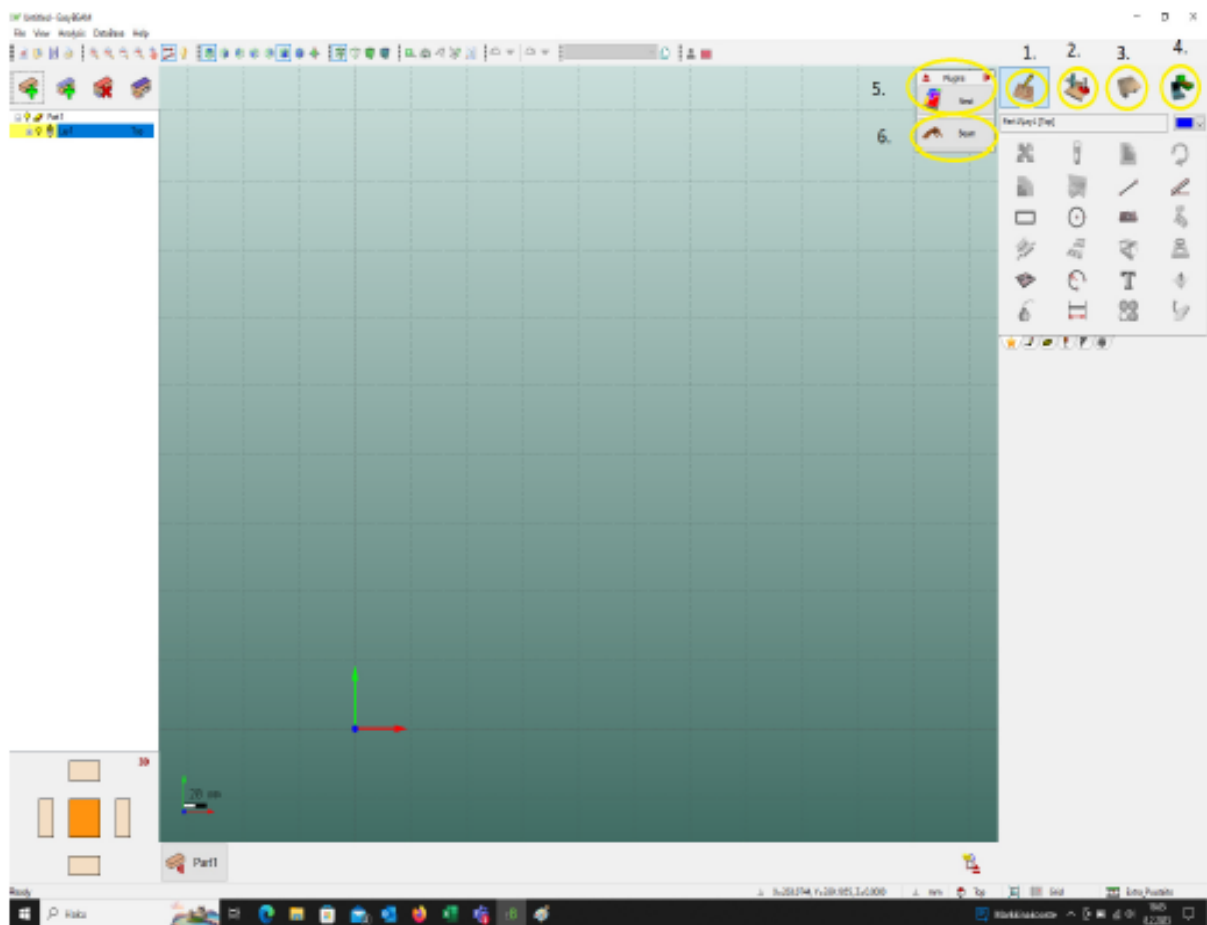
FNZ4102167 (mSpW 15/ZZ-4 ALKA)

Tensione nominale	V	119	575
Frequenza nominale	Hz	67	600
Velocità nominale	rpm	2000	18000
Tipo di servizio		S6 40%	S6 40%
Potenza nominale	kW	22	22
Coppia nominale	Nm	104,5	12
Corrente nominale	A	143	64
Rendimento nominale η			0,87
Fattore di potenza φ			0,87
Numero di poli			4
Classe di isolamento			F
Classe IP			IP54
Raffreddamento			Liquido
Peso	Kg		60

Velocità max	Lubrificazione cuscinetti
18000	grasso

LIITE 2: DDX EASYWOOD-OHJELMAN PÄÄTOIMINNOT

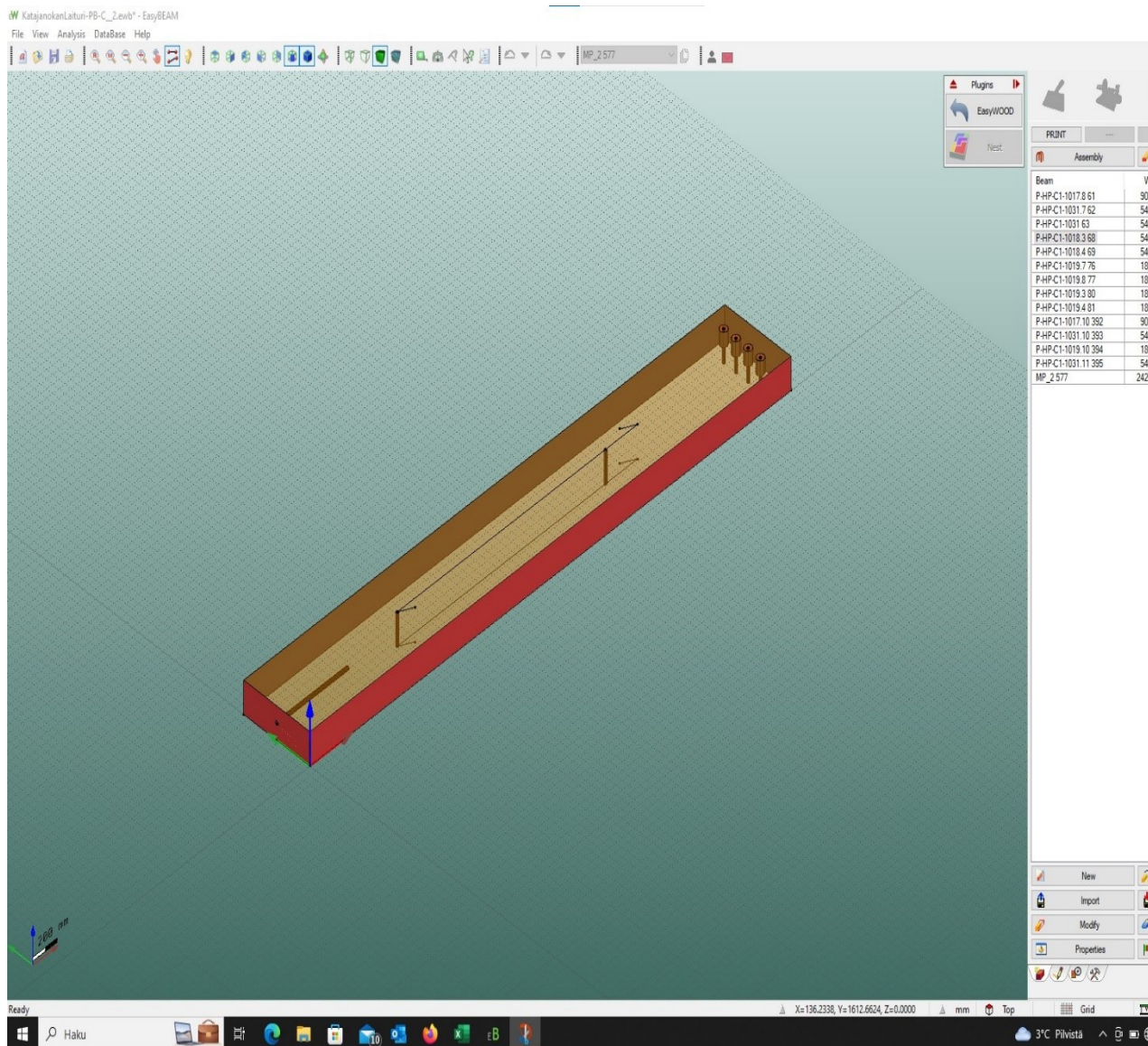
Näkymä Ddx Easywood CAD-osiosta.



Päätoiminnot:

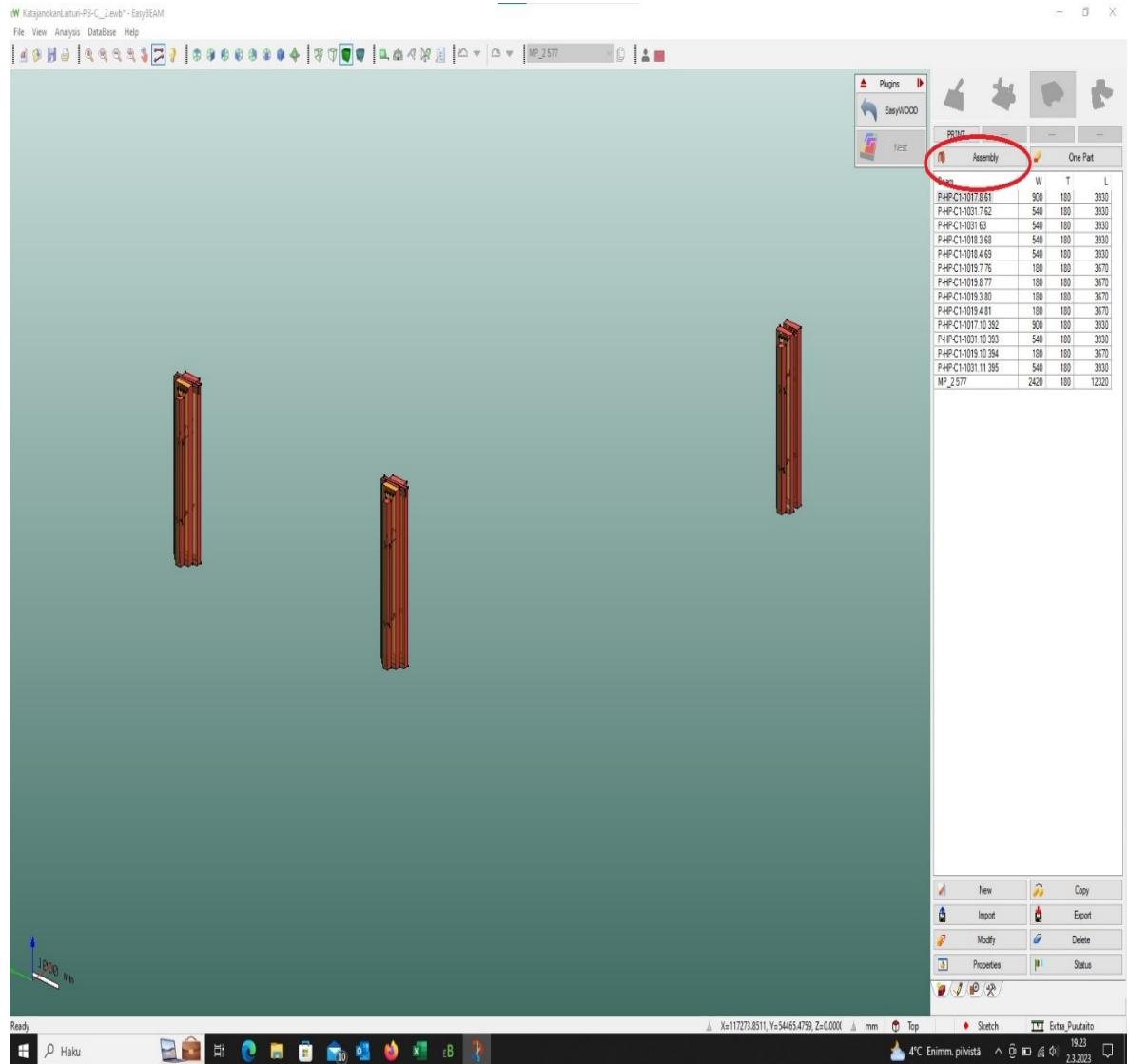
1. CAD-toiminnot
2. CAM-toiminnot
3. Kappaleen asettelu CNC-koneelle
4. Simulointi ja ISO-koodin tallennus
5. Nestaus- lisäosa
6. Btl-lisäosa

LIITE 3: AUTOMAATTISEN OHJELMOINNIN JA SIMULAATION OHJE 1 (10)



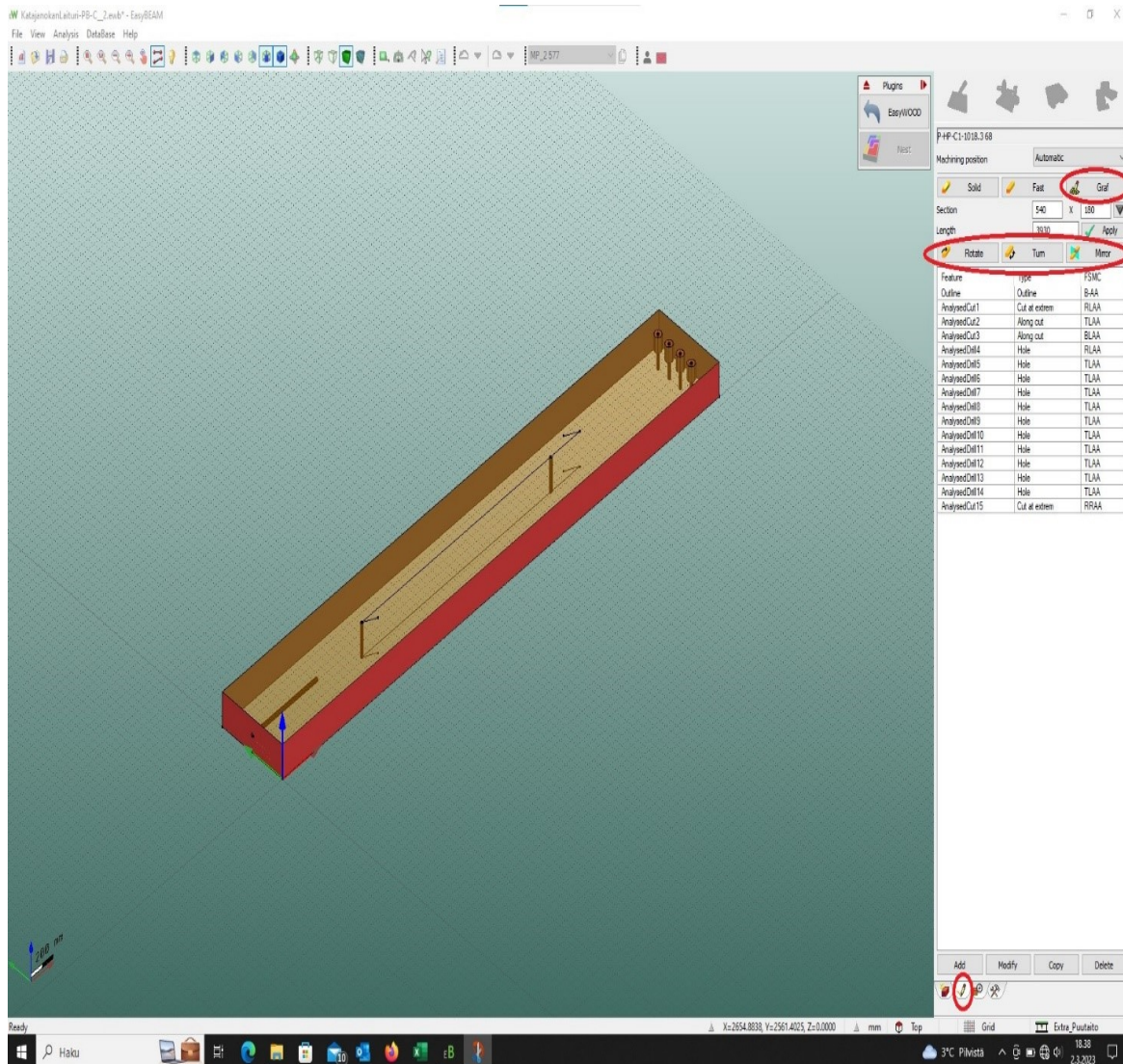
1. Avaa btl-tiedosto tai raahaa tiedosto Ddx:n näytölle.
 - 1.1 Tiedoston sisältämät komponentit ovat listattuna oikealla olevassa ikkunassa, jossa on jokaisen komponentin dimensiot ja nimiketunnukset. Tässä vaiheessa voi tarkastella josta komponenttia, jotta niissä on varmasti kaikki työstöt. Komponentteja voi kopioida tai poistaa mikäli tarve.

LIITE 4: AUTOMAATTISEN OHJELMOINNIN JA SIMULAATION OHJE 2 (10)



2. Assembly-toiminnolla voi tarkastella komponenttien kokoonpanoja ja miten ne sijoittuvat toisiinsa nähden.

LIITE 5: AUTOMAATTISEN OHJELMOINNIN JA SIMULAATION OHJE 3 (10)



3. Seuraavalla välilehdellä voidaan tarkastella jokaisen komponentin työstöominaisuuksia, jotka ohjelma on analysoinut btl-tiedostosta.

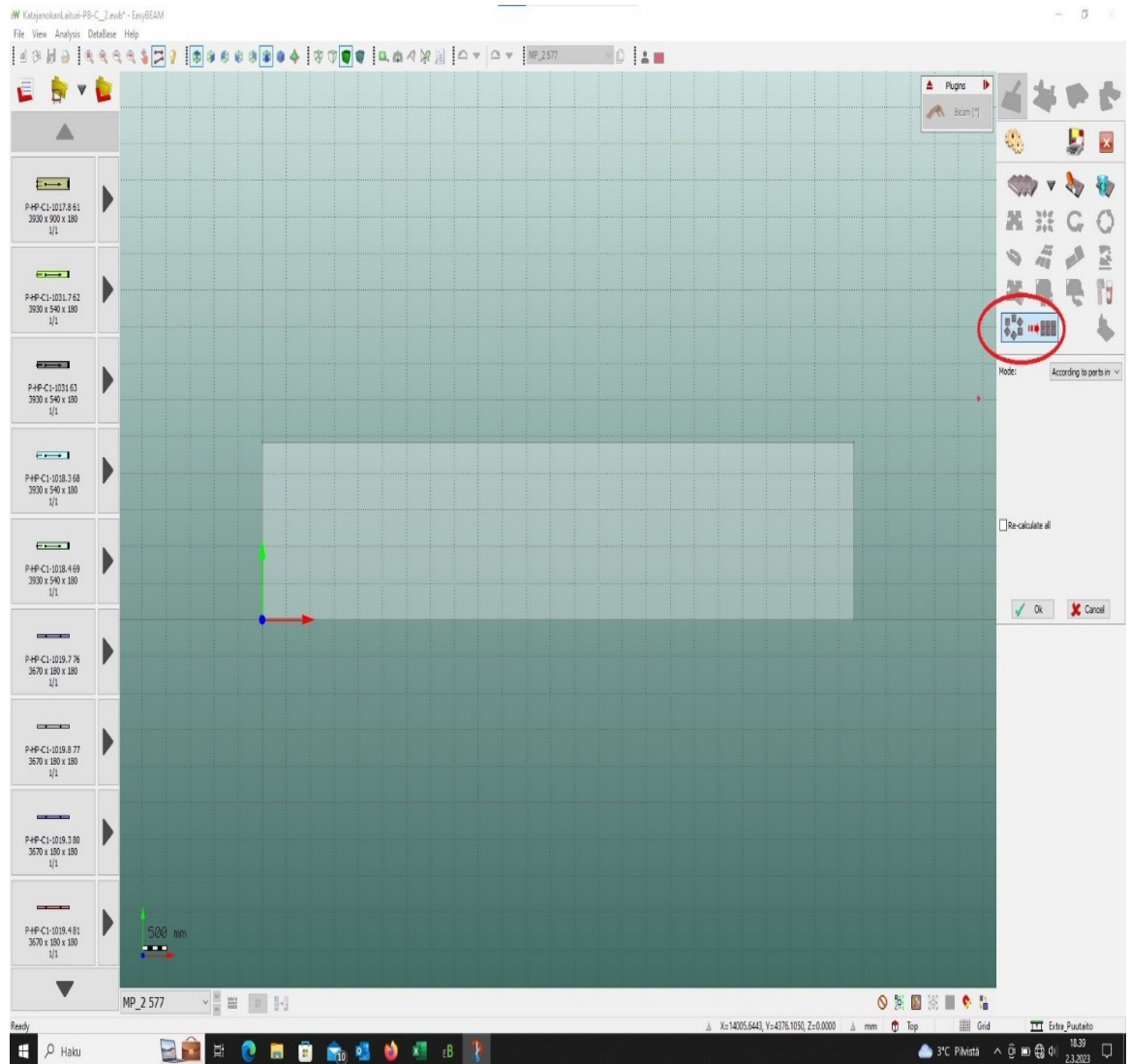
-

3.1 Jokaista komponenttia voidaan kääntää Z- tai X-akselin ympäri. Lisäksi komponentteja voidaan peilata. Jos jokin työstö on jäänyt alapuolelle, käännä komponentti oikein päin.

-

3.2 Jos komponentista puuttuu jokin työstö, voit lisätä sen piirtämällä valitsemalla Graf-toiminnon.

LIITE 6: AUTOMAATTISEN OHJELMOINNIN JA SIMULAATION OHJE 4 (10)



4. Siirry nestausosioon, jossa komponentit asetellaan aihiolle

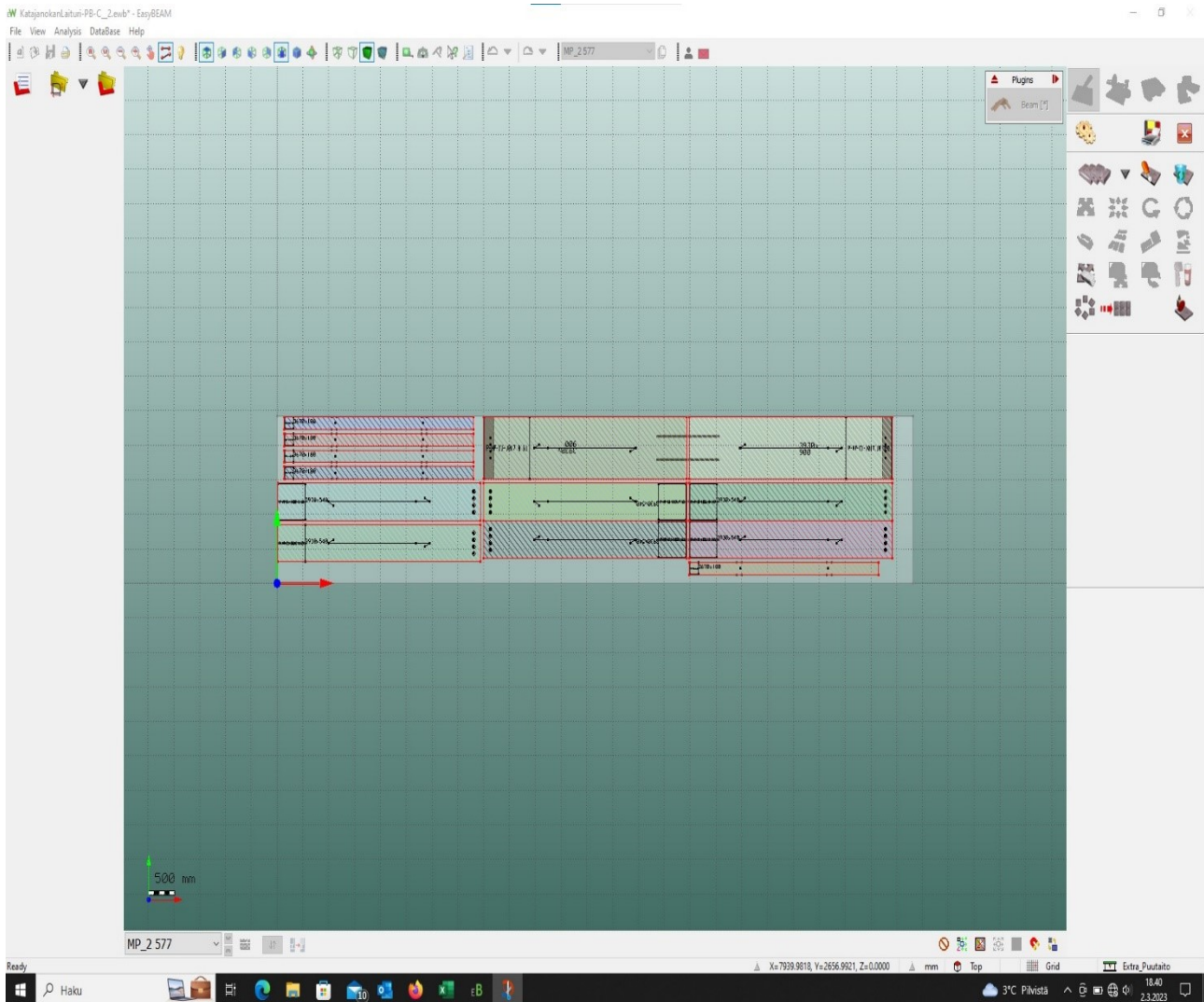
-

4.1 Vasemmassa reunassa on nestattavat komponentit ja keskellä aihio, johon ne asetellaan.

-

4.2 Paina nestautoimintoa, jonka jälkeen komponentit asettuvat aihiolle.

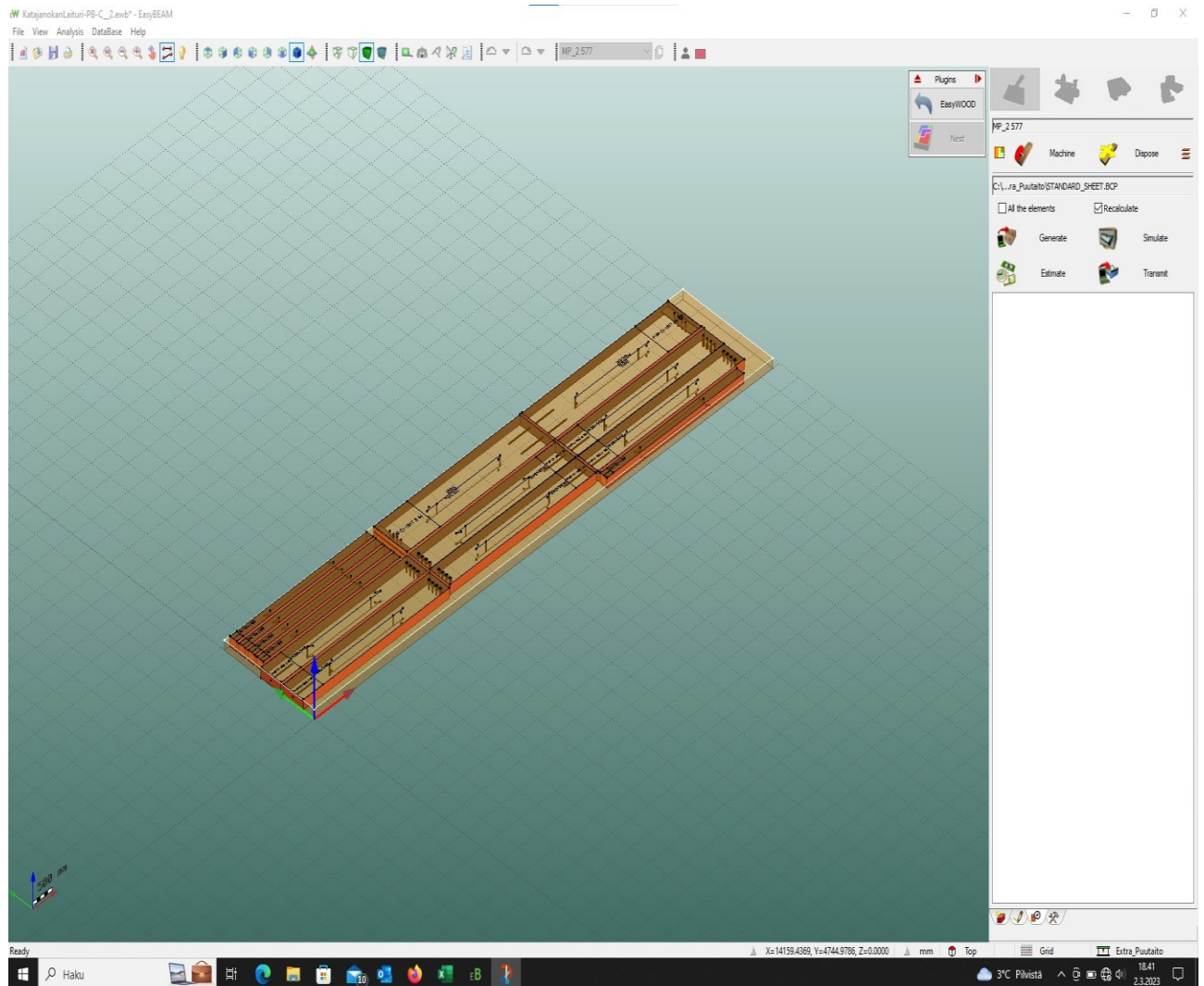
LIITE 7: AUTOMAATTISEN OHJELMOINNIN JA SIMULAATION OHJE 5 (10)



5. Kun komponentit ovat ahiolla, tarkista että komponentit ovat sijoittuneet oikein ja niissä on riittävät koneistusvarat.

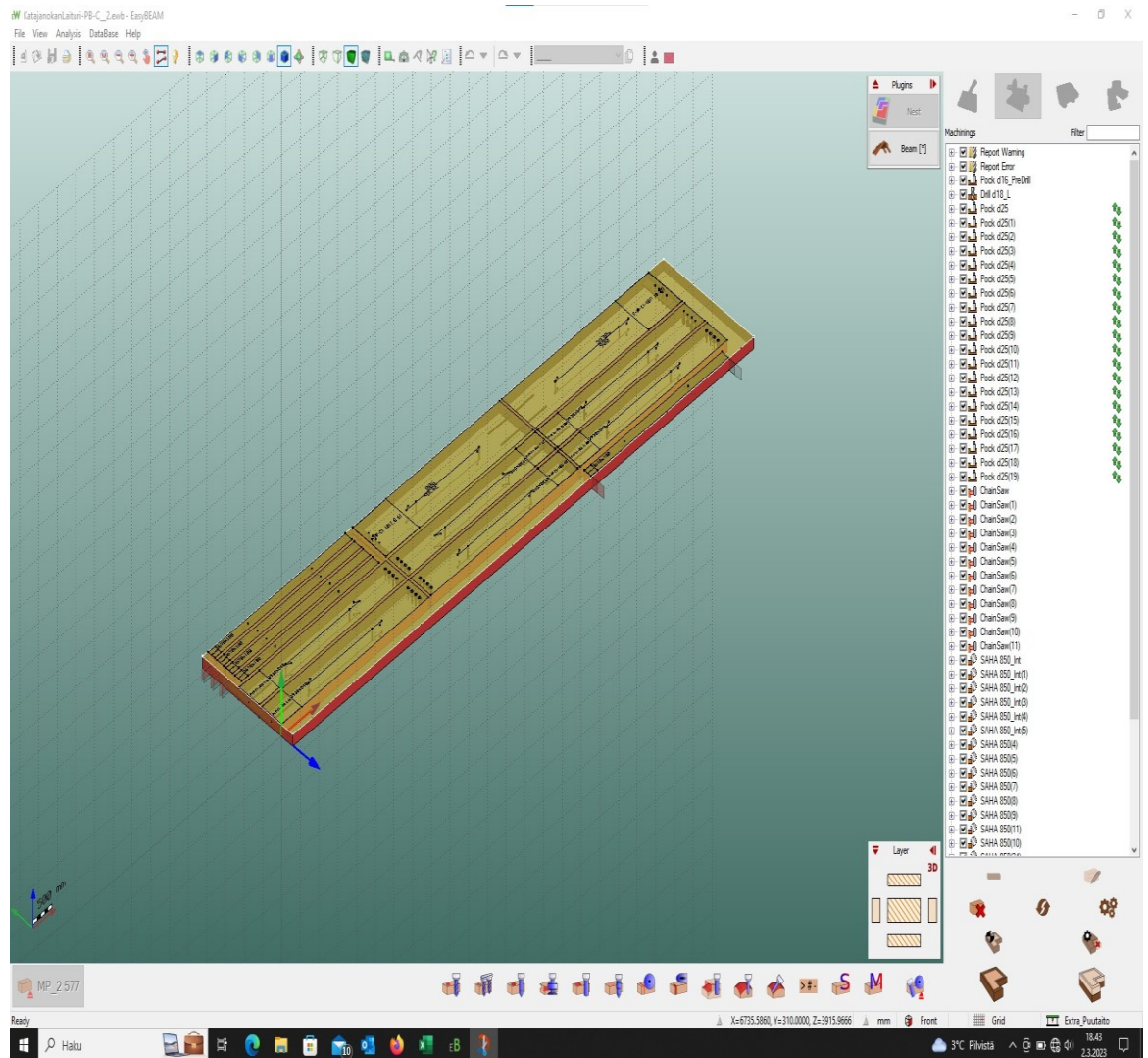
5.1 Poistu nestäustilasta takaisin Easybeam-toimintasivulle

LIITE 8: AUTOMAATTISEN OHJELMOINNIN JA SIMULAATION OHJE 6 (10)



6. Valitse Recalculate ja mene Machine- toimintasivulle. Ohjelma samalla suorittaa automaattisen ohjelmoinnin.

LIITE 9: AUTOMAATTISEN OHJELMOINNIN JA SIMULAATION OHJE 7 (10)

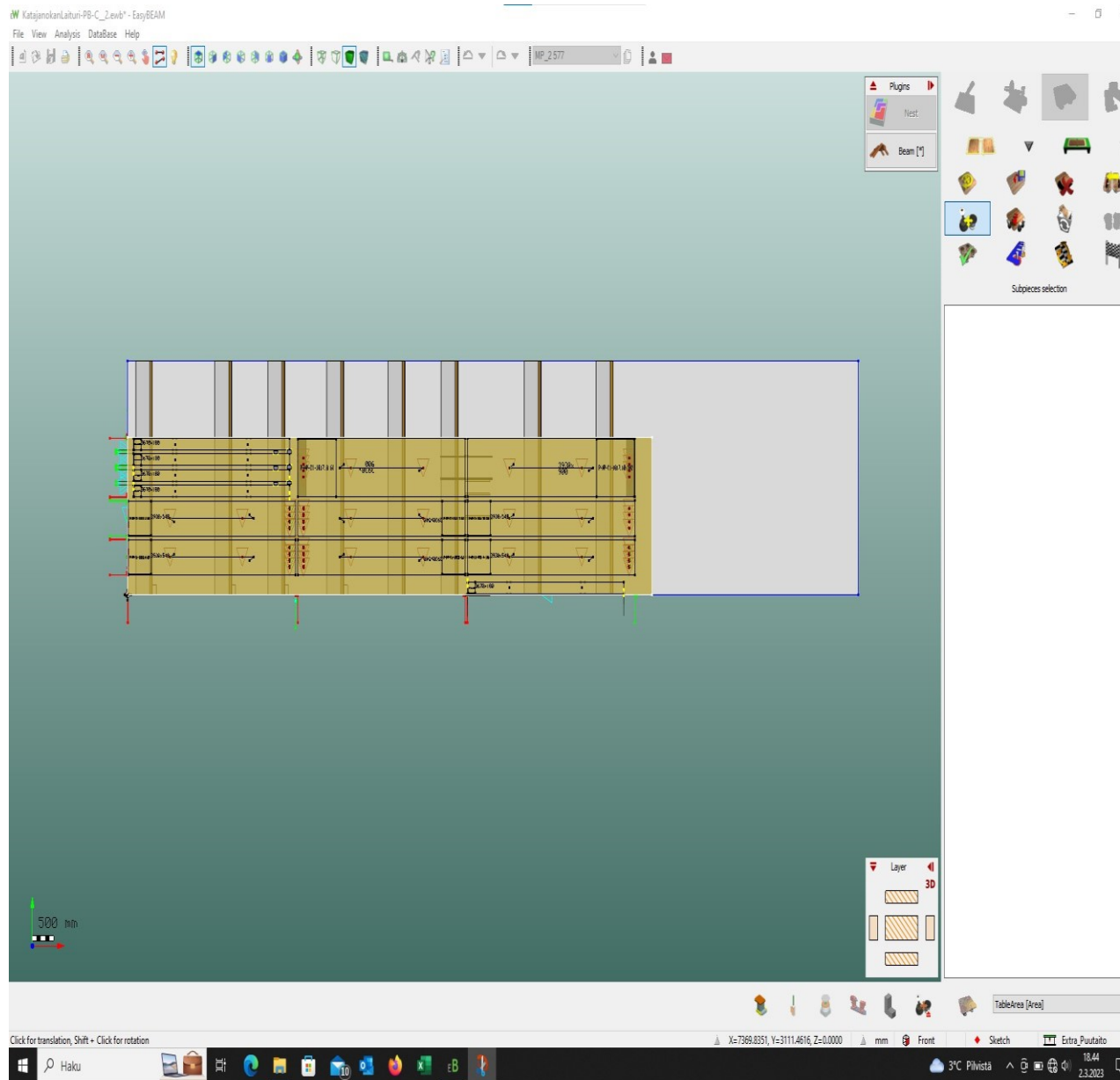


7. Machine-toimintasivulla on kaikki työstöoperaatiot listattuna oikeassa ikkunassa.

7.1 Työstöoperaatiot on tässä vaiheessa tarkistettava. Mikäli ohjelma yrittää suorittaa sellaista operaatiota, mitä ei voi todellisuudessa suorittaa, niin poista kyseinen operaatio.

7.2 Työstöjärjestystä ja parametrejä voi muokata.

LIITE 10: AUTOMAATTISEN OHJELMOINNIN JA SIMULAATION OHJE 8 (10)

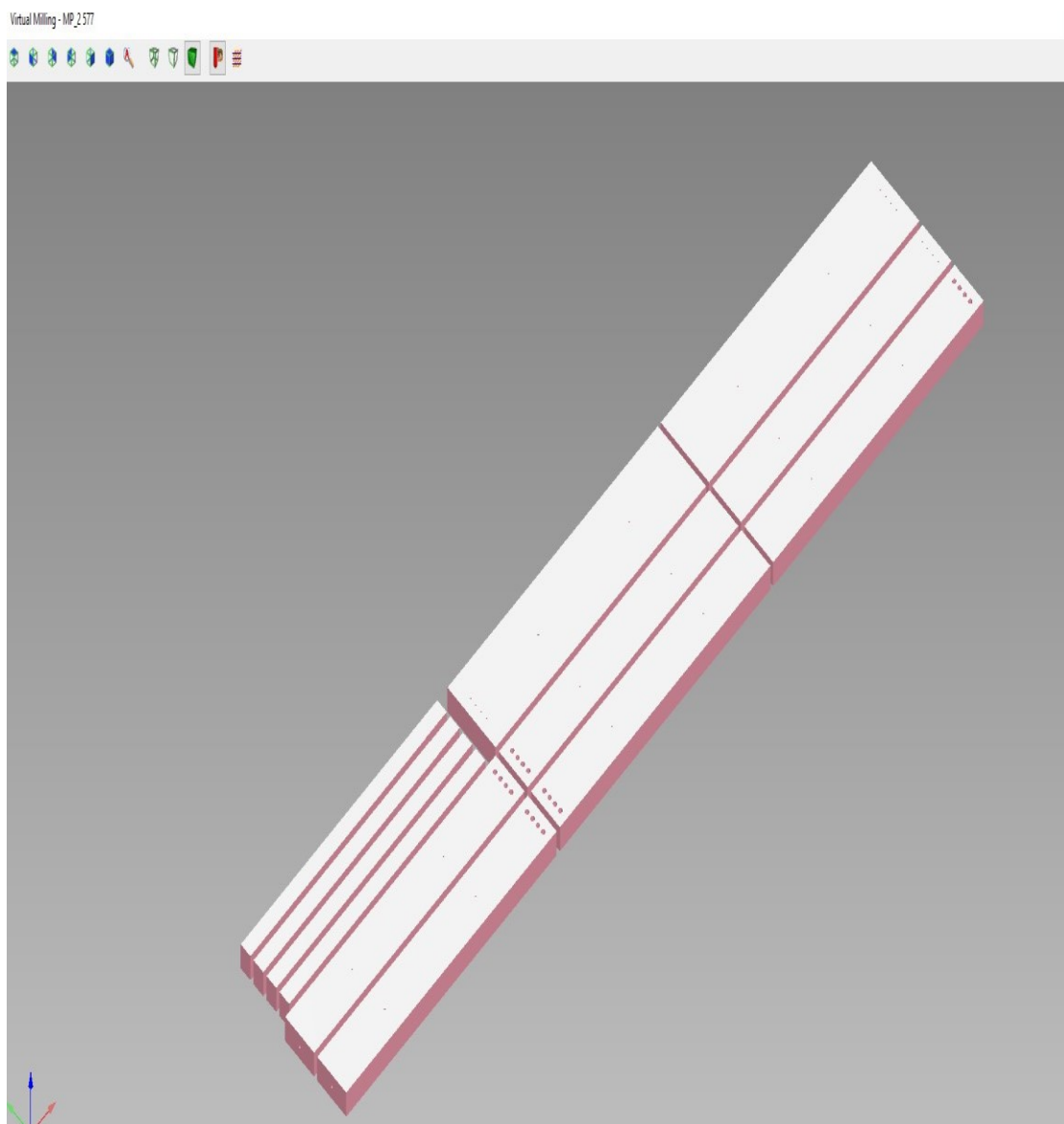


8. Mene Dispose toimintasivulle.

8.1 Asettele aihio CNC-koneen pöytäalueelle.

8.2 Käytä tarvittaessa Automatic position toimintoa, mikäli aihio ei ole valmiiksi referenssipisteessä.

LIITE 11: AUTOMAATTISEN OHJELMOINNIN JA SIMULAATION OHJE 9 (10)

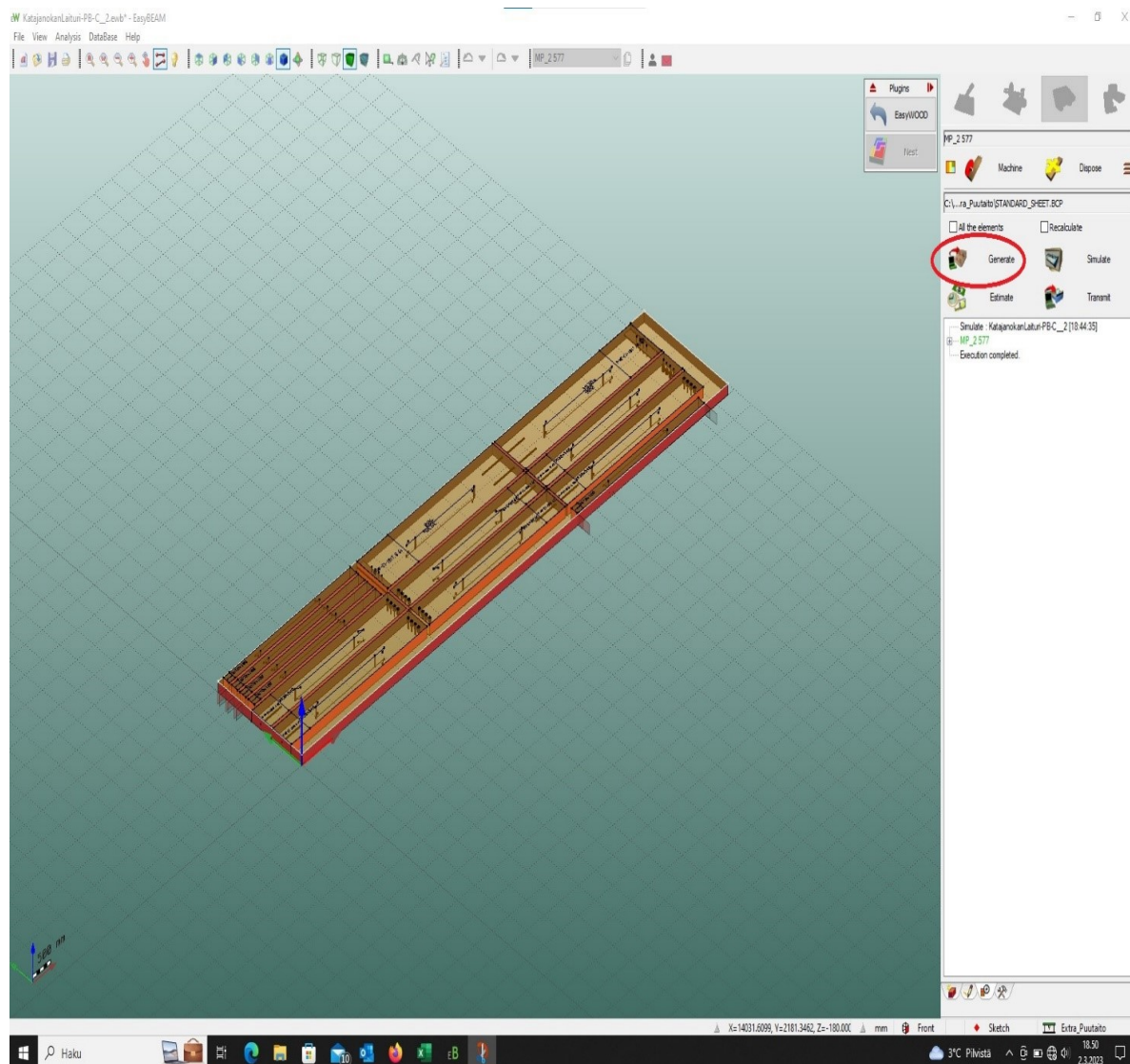


9. Suorita simulaatio.

9.1 Poista komponenttien väliltä olevat jätepalat.

9.2 Tarkista, että työstöt ovat oikein.

LIITE 12: AUTOMAATTISEN OHJELMOINNIN JA SIMULAATION OHJE 10 (10)



10. Suorita ISO-koodin tallennus painamalla Generate-painiketta.

10.1 ISO- koodi tallentuu samaan osoitteeseen mihin varsinainen ohjelma on tallennettu.

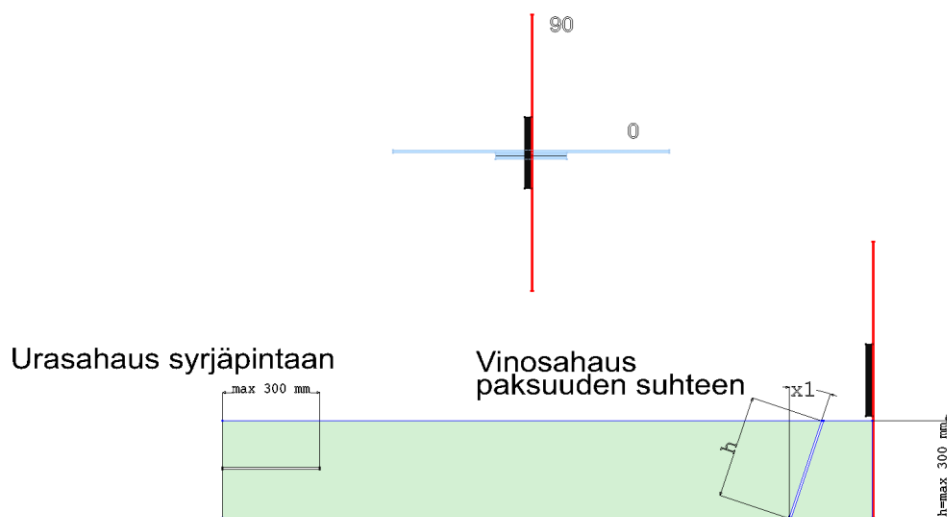
Avaamalla cnc-päätteellä olevan tiedoston, voidaan ISO-koodia tarvittaessa muokata.

10.2 Siirrä valmis tiedosto CNC-koneelle ja suorita toiminnot.

LIITE 13: BIESSE UNITEAM TYÖSTÖPARAMETRIT SUUNNITTELUUN 1(7)

Syrjän urasahaus ja mitallistus

Työkalu: sirkkeli



Vinosahaus



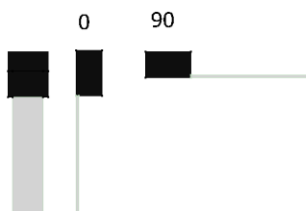
Työstöparametreja:

- Terän kallistuskulmat 0-90
- Kääntyvyys 360
- $h = \max 300 \text{ mm}$
- $x1 = 0-90$ astetta riippuen h -mitasta
- $x2 = 0-90$ astetta
- kulmat $x1$ ja $x2$ voivat olla samaan aikaan käytössä
- sahausuran leveys max 6.5 mm

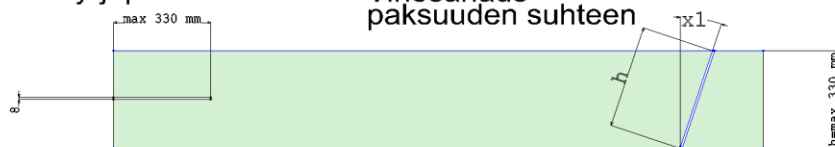
LIITE 14: BIESSE UNITEAM TYÖSTÖPARAMETRIT SUUNNITTELUUN 2(7)

Syrjän urasahaus ja mitallistus

Työkalu: ketjusaha



Urasahaus syrjäpintaan



Vinosahaus paksuuden suhteen

Vinosahaus



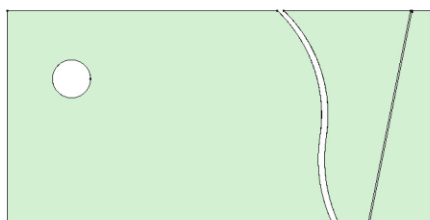
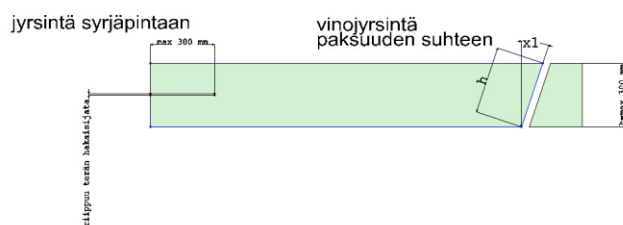
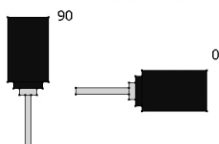
Työstöparametreja:

- Terän kallistuskulmat 0-90
- Kääntyvyys 360
- $h = \max 330 \text{ mm}$
- $x_1 = 0 - 90$ astetta riippuen h -mitasta
- $x_2 = 0 - 90$ astetta
- kulmat x_1 ja x_2 voivat olla samaan aikaan käytössä
- sahausuran leveys 8 mm

LIITE 15: BIESSE UNITEAM TYÖSTÖPARAMETRIT SUUNNITTELUUN 3(7)

Aukkojen ja muotojen työstö

Työkalu: Tappihiyrin



Työstöparametreja:

- Terän kallistuskulmat 0-90
- Kääntyvyys 360
- $h = \max 300$ mm riippuen kallistuskulmasta
- $x1 = 0 - 90$ astetta riippuen h -mitasta ja työstö suoritetaan pöytäalueen ulkopuolella
- $x1 = 20 - 90$ astetta riippuen h -mitasta ja työstö suoritetaan pöytäalueen sisäpuolella
- $x2 = 0 - 90$ astetta
- kulmat $x1$ ja $x2$ voivat olla samaan aikaan käytössä
- työstöuran leveys riippuu työkalusta

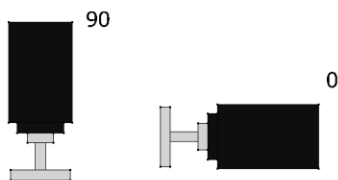
Terien halkaisijat materiaalien paksuuden suhteen:

- paksuus 0-63 mm, terän min halkaisija 16 mm
- paksuus 64-110 mm, terän halkaisija 25 mm
- paksuus 111-140 mm, terän halkaisija 30 mm
- paksuus 141-160 mm- terän paksuus 40 mm
- paksuus 161-220 mm, terän paksuus 50 mm
- paksuus 221-300 mm, terän paksuus 60 mm

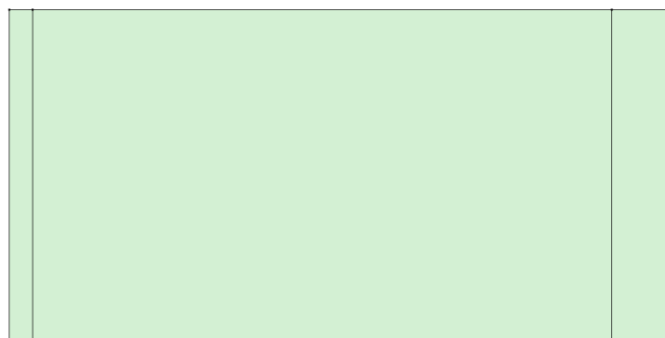
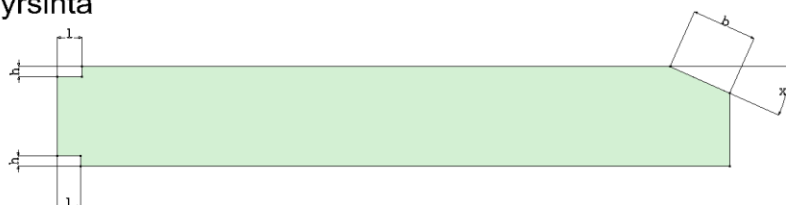
LIITE 16: BIESSE UNITEAM TYÖSTÖPARAMETRIT SUUNNITTELUUN 4(7)

Huullostien ja reunaviisteiden jyrshintä

Työkalu: Kiekkojyrsin 180 mm



huullostien jyrshintä



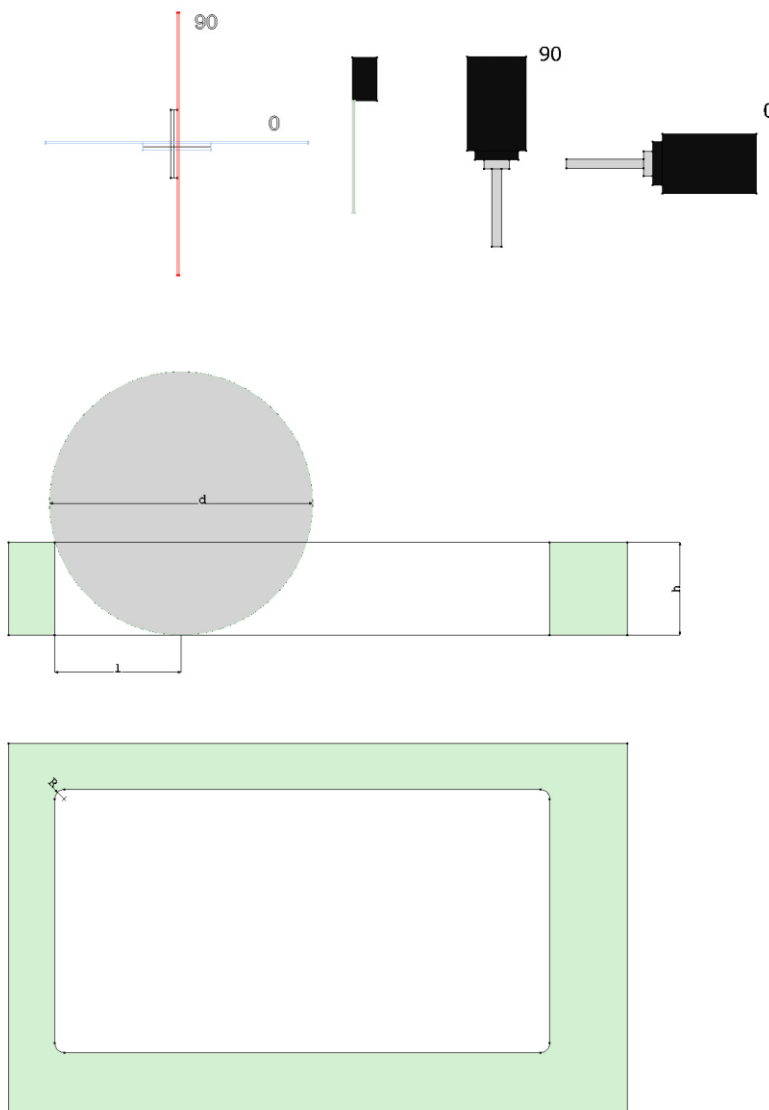
Työstöparametreja 180 mm kiekkojyrsin:

- Terän kallistuskulmat 0-90
- Kääntyvyys 360
- $x1 = 0 - 90$ astetta
- $h =$ ei rajoituksia yläpuolella
- $h =$ min 30 mm alapuolella
- $l =$ ei rajoituksia yläpuolella
- $l =$ max 70 mm levyn alapuolella
- $b =$ ei rajoituksia

LIITE 17: BIESSE UNITEAM TYÖSTÖPARAMETRIT SUUNNITTELUUN 5(7)

Suorareunaisen aukon työstö

Työkalu: Sirkkeli/ Tappijyrsin/Ketjusaha

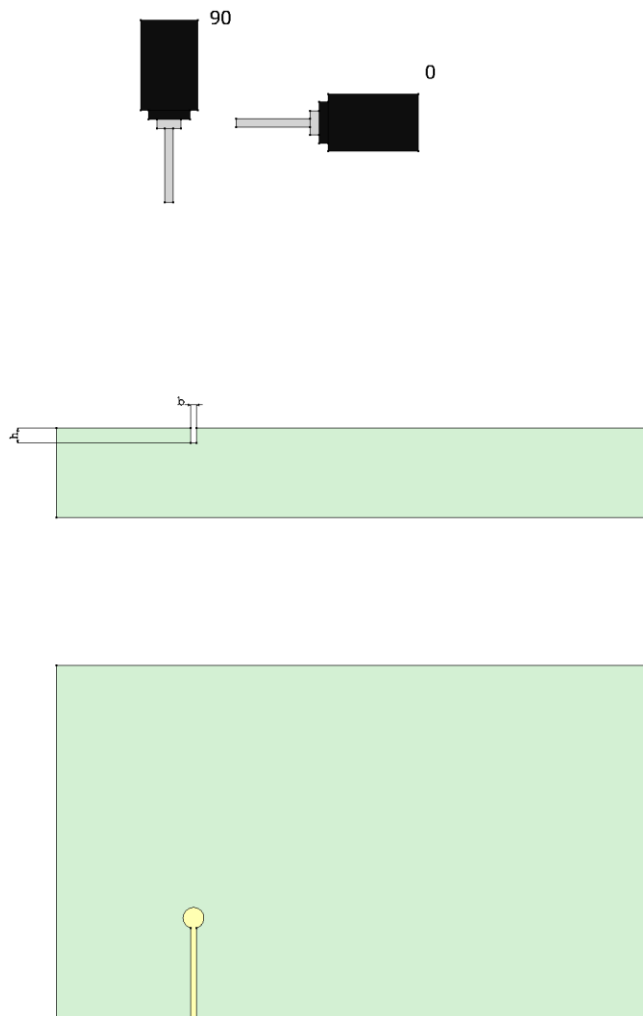


Työstöparametreja:

- Terän kallistuskulmat 0-90
 - Kääntyvyys 360
 - h max 300 mm
 - d max 550 mm, kun h = 0 - 150 mm
 - d max 850 mm, kun h = 151 - 300 mm
 - l= riippuu paksuudesta. Kun h = 300 mm l = 405 mm
 - R = 12,5, kun h = 0-110 mm
 - R = 15, kun h = 111-140 mm
 - R = 20, kun h = 141-160 mm
 - R = 25, kun h = 161-220 mm
 - R = 30, kun h = 221-300
 - R = 0, kun käytetään ketjusahaa, h-arvolla ei rahoituksia
- Huom! Ketjusahaa käytettäessä, työstöjälki ei ole siisti.

LIITE 18: BIESSE UNITEAM TYÖSTÖPARAMETRIT SUUNNITTELUUN 6(7)

Uran ja taskun jyrsintä
Työkalu: Tappijyrsin



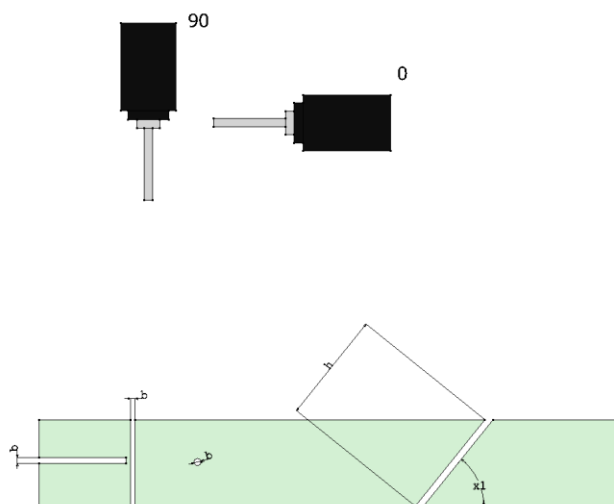
Työstöparametreja:

- Terän kallistuskulmat 0-90
- Kääntyvyys 360
- työstöuran leveys riippuu työkalusta

Terien halkaisijat materiaalien paksuuden suhteen:

- paksuus 0-63 mm, terän min halkaisija 16 mm
- paksuus 64-110 mm, terän halkaisija 25 mm
- paksuus 111-140 mm, terän halkaisija 30 mm
- paksuus 141-160 mm- terän paksuus 40 mm
- paksuus 161-220 mm, terän paksuus 50 mm
- paksuus 221-300 mm, terän paksuus 60 mm

LIITE 19: BIESSE UNITEAM TYÖSTÖPARAMETRIT SUUNNITTELUUN 7(7)

Poraukset
Työkalu: Poranterä

Työstöparametreja:

- Terän kallistuskulmat 0-90
- Kääntyvyys 360
- työstöuran leveys riippuu työkalusta
- x_1 riippu h -mitasta
- h max 300 mm
- b riippuu terän kokonaispituudesta. Jos $h = \text{max}$, niin $b = \text{min } 16 \text{ mm}$